

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TERMODİNAMİK BİLİM DALI**

**NANOPARTİKÜL ŞEKİL ETKİSİNİN VE İLETKEN KÖŞE
BÖLMESİNİN NANOAKIŞKANLA DOLU BİR KAVİTEDE DOĞAL
TAŞINIMA ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ**

Aslı AKYOL İNADA

**Danışman
Doç. Dr. Fatih SELİMEFENDİGİL**



MANİSA-2017

**Aslı
AKYOL
İNADA**

**NANOPARTİKÜL ŞEKİL ETKİSİNİN VE İLETKEN KÖŞE BÖLMESİNİN
NANOAKIŞKANLA DOLU BİR KAVİTEDE DOĞAL TAŞINIMA ETKİSİNİN
SAYISAL ANALİZİ**

2017

TEZ ONAYI

Aslı AKYOL İNADA tarafından hazırlanan "**Nanopartikül Şekil Etkisinin ve İletken Köşe Bölmesinin Nanoakışkanla Dolu Bir Kavitede Doğal Taşınım Etkisinin Sayısal Analizi**"adlı tez çalışması 20/09/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak savunulmuş ve **oyçokluğu / oybirliği** ile başarılı olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Doç. Dr. Fatih SELİMEFENDİGİL
Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Sercan ACARER
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Yiğit AKSOY
Celal Bayar Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Aslı AKYOL İNADA



İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	VII
TEŞEKKÜR.....	VIII
ÖZET.....	IX
ABSTRACT	X
1.GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	3
2. DOĞAL TAŞINIM ISI TRANSFER MEKANİZMASI.....	6
2.1. Kapalı Çerçeveler İçin Doğal Taşınım Korelasyonları.....	8
2.2. Doğal Taşınım Denklemleri.....	11
3. ISI TRANSFERİNİ ARTTIRMAK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER	17
3.1. Aktif Metod.....	17
3.2. Pasif Metod	17
3.3. Nanoakışkanlar	22
3.3.1. Nanoakışkanların Hazırlanması	23
3.3.1.1. Tek Adım Metodu	24
3.3.1.2. İki Adım Metodu.....	24
3.3.2. Nanoakışkanlarda Isı Transferini Etkileyen Faktörler	26
3.3.2.1. Nanopartiküllerin Şekil Etkisi.....	26
3.3.2.2. Nanopartiküllerin Boyut Etkisi	29
3.3.2.3. Partiküllerin Hacimsel Konsantrasyon Miktarı.....	30
3.3.2.4. Brownian Hareketi	30
3.3.2.5. Termal İletkenlik (k_{eff}).....	31
3.3.2.6. Temel Sıvı	32
3.4. Nanoakışkanlarla Isı Transferinin İyileştirilmesi	33
4. YÖNTEM.....	39
4.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Özellikleri	40
4.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları.....	40
4.3. Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Alanları	41
4.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modelleme ve Çözüm İşlemleri.....	42
4.4.1. Ayrıklaştırma Süreci	42

4.4.2. Enterpolasyon veya Şekil Fonksiyonlarını Seçmek.....	43
4.4.3. Denklemleri Oluşturma ve Biraya Getirme	43
4.5. Sonlu Elemanlar Formülasyonu.....	43
4.5.1. Süreksiz Denklemler Başlangıç ve Sınır şartları.....	44
4.6. Galerkin Metodu.....	44
5. İÇİ NANOAKIŞKAN DOLU KÖŞE BÖLMELİ BİR KAVİTENİN SAYISAL ANALİZİ.....	47
5.1. Fiziksel Model	47
5.2. Matematiksel Modelleme	48
5.2.1. İlgili Diferansiyel Denklemler ve Sınır Şartları.....	48
5.2.2. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri.....	50
5.2.3. Çözüm Yöntemi	51
5.3. Analizler.....	51
5.3.1. Rayleigh Sayısının Etkisi	51
5.3.1.1. Eş Akış ve Sıcaklık Alanı	51
5.3.1.2. Lokal ve Ortalama Nusselt Sayısı Dağılımları	59
5.3.2. Nanopartikül Hacim Oranı Etkisi.....	64
5.3.2.1. Eş Akış ve Eş Sıcaklık Eğrileri	64
5.3.2.2. Lokal ve Ortalama Isı Transferine Etkisi	68
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
6.1 Elde Edilen Sonuçların Literatürler ile Kıyaslanması.....	76
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	88

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

c_p	Özgül Isı (J/kgK)
d	Partikül Çapı
D	Difüzyon Sabiti
g	Yerçekimi İvmesi (m/s ²)
Gr	Grashof Sayısı
h	Taşınım Isı Transfer Katsayısı (W/m ² K)
k	Isıl İletkenlik Katsayısı (W/mK)
k_b	Boltzmann Sabiti (m ² kg/s ² K)
n	Amprik Şekil Faktörü
Nu	Nusselt Sayısı
P	Basınç (Pa)
Pr	Prandtl Sayısı
q	Isı Akısı (W/m ²)
r	Yarıçap (m)
Ra	Rayleigh Sayısı
Re	Reynolds Sayısı
T	Sıcaklık (K)
u, v, w	Hız (m/s)
μ	Dinamik Viskozite (kg/ms)
ν	Kinematik Viskozite (m ² /s)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
τ	Kayma Gerilmesi (Pa)
φ	Partikül Hacimsel Oranı
η	Akışkanın Viskozitesi
ψ	Küresellik Katsayısı
HN	Hidrotermal Method (NaCl var)
HT	Hidrotermal Method (NaCl yok)
MN	Mikrodalga Method (NaCl var)
MW	Mikrodalga Method (NaCl yok)
NP	Nanopartikül
SAM	Kendi Kendine Oluşan Tek Tabakalar
TEM	Geçirimli Elektron Mikroskobu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Farklı sıcaklıklara sahip büyük yatay levhalar arasındaki bir akışkan (a) Kararsız sıcaklık gradyanı. (b) Kararlı sıcaklık gradyanı .	6
Şekil 2. Geniş ve durgun bir ortamda kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle oluşan serbest sınır tabaka akışları. (a) Sıcak bir tel üstünde hüzme oluşumu. (b) Sıcak bir akıntıyla ilgili yükselen jet oluşumu	7
Şekil 3. Isıtılan bir dikey levha üzerinde sınır tabakanın gelişimi	8
Şekil 4. Bir dikdörtgen oyukta doğal taşınım	9
Şekil 5. Alttan ısıtılan yatay akışkan tabakasında, taşınım boyuna dönen hücresel karakteristiği	9
Şekil 6. Farklı yan yüzey sıcaklıklarına sahip dikey bir oyukta hücresel akış	10
Şekil 7. Uzun, yatay, eşeksenli silindirler veya eşmerkezli küreler arasındaki boşlukta doğal taşınım akışı	10
Şekil 8. Dikey plakadaki doğal taşınımlı sınır tabakasının sıcaklık ve hız profilleri	11
Şekil 9. Süperhidrofobik yüzeydeki su	18
Şekil 10. Kaynamada gerçekleşen ısı transfer yüzeylerinin farklı tipleri a) farklı formdaki düşük finli yüzeyler b) sinterlenmiş partikül kaplı yüzey c) derin tırtıklı yüzey	18
Şekil 11. Damla damla buhar yoğunlaşması örnekleri a) düz bir yüzeyde (b) SAM-kaplı bir oluklu tüp üzerinde	19
Şekil 12. Çukur yüzey resmi	19
Şekil 13. Bazı fin tipleri	20
Şekil 14. Laminer ve geçişli akış rejimleri için tel matris türbülantörleri	20
Şekil 15. Isı transfer oranını arttırmayı sağlayan bükülmüş bantlar	21
Şekil 16. Helisel tüp	21
Şekil 17. Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan iki adımlı method	25
Şekil 18. Toplanmış ve dağıtılmış Al_2O_3 nanopartikül resimleri	25
Şekil 19. TEM gösterimleri (a) dikdörtgen şekline yakın ZnO nanopartikülü (b) küresel şekilde ZnO nanopartikülü	27
Şekil 20. TEM resimleri a) HT b) HN c) MW ve d) MN	28
Şekil 21. Bohemit Al_2O_3 nanoakışkanın şekilleri ve TEM resimleri	29
Şekil 22. Tipik Sonlu Elemanlar Mesh Gösterimi	40
Şekil 23. Isı transferi hesaplamaları için sayısal model	42
Şekil 24. Fiziksel modelin şematik tanımı	47
Şekil 25. 2D akım çizgisi	49
Şekil 26. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş akış dağılımına etkisi ($Kr=10$, $\phi=0.02$, küresel nanopartikül $k=0.6$)	52
Şekil 27. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr=10$, $\phi=0.02$, küresel nanopartikül)	53
Şekil 28. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş akış dağılımına etkisi ($Kr=10$, $\phi=0.03$, blade nanopartikül)	54

Şekil 29. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.03$, blade nanopartikül).....	55
Şekil 30. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş akış dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.03$, silindirik nanopartikül).....	56
Şekil 31. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.03$, silindirik nanopartikül).....	57
Şekil 32. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş akış dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.04$, brick nanopartikül).....	58
Şekil 33. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.04$, brick nanopartikül).....	59
Şekil 34. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, küresel nanopartikül).....	60
Şekil 35. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, brick nanopartikül).....	60
Şekil 36. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, silindirik nanopartikül).....	61
Şekil 37. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0,4$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, brick nanopartikül).....	61
Şekil 38. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0.4$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, silindirik nanopartikül).....	62
Şekil 39. Çeşitli nanopartikül şekillerinde $Ra=10^6$ değeri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0,4$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, silindirik, küresel ve brick nanopartikül).....	62
Şekil 40. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için nanopartikül hacim oranının eş akış dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $Ra=10^5$, küresel nanopartikül).....	65
Şekil 41. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için nanopartikül hacim oranının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $Ra=10^5$, küresel nanopartikül).....	66
Şekil 42. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için nanopartikül hacim oranının eş akış dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $Ra=10^5$, silindirik nanopartikül).....	67
Şekil 43. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için nanopartikül hacim oranının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $Ra=10^5$, silindirik nanopartikül).....	68
Şekil 44. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0$, $Kr = 10$).....	68
Şekil 45. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0$, $Kr = 10$, $Ra 10^5$).....	69
Şekil 46. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0$, $Kr = 10$).....	69
Şekil 47. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0$, $Kr = 10$).....	70
Şekil 48. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0,1$, $Kr = 10$).....	70
Şekil 49. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0,1$, $Kr = 10$).....	71

Şekil 50. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0.1, Kr = 10$)	71
Şekil 51. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0,4, Kr = 10$)	72
Şekil 52. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0.4, Kr = 10$)	72
Şekil 53. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0.4, Kr = 10$)	73



TABLO DİZİNİ

Tablo 1. Çeşitli geometrilerde kavitede doğal taşınımın ısı transferine etkisi ile ilgili çalışmalar	13
Tablo 2. Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan temel sıvılar ve nanopartiküller	26
Tablo 3. Çeşitli malzemelerin termal iletkenliği	31
Tablo 4. Çeşitli geometrilerde kavitede nanoakışkanlar ısı transferinin iyileştirilmesiyle ilgili çalışmalar	34
Tablo 5. Farklı nanopartikül şekilleri için nanoakışkanların termal iletkenlik sabiti	51
Tablo 6. Farklı nanopartikül şekilleri için nanoakışkanların sabiti	51
Tablo 7. Köşe bölme yarıçapı $R = 0$ için Rayleigh sayısının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi (küresel, $Kr = 10$).....	63
Tablo 8. Çeşitli yarıçaplarda küresel nanopartikül Rayleigh sayısının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi (küresel, $Kr = 10$)	63
Tablo 9. Çeşitli yarıçaplarda tuğla nanopartikül Rayleigh sayısının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi (brick, $Kr = 10$).....	63
Tablo 10. Çeşitli yarıçaplarda silindirik nanopartikül Rayleigh sayısının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi (silindirik, $Kr = 10$).....	64
Tablo 11. Nanopartikül katı hacim oranının ve nanoparçacık şekillerinin $R = 0$ köşe bölme yarıçapı için ($Ra = 10^5$, $Kr = 10$) ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkileri, 74	
Tablo 12. Nanopartikül katı hacim oranının ve nanoparçacık şekillerinin $R = 0.1$ köşe bölme yarıçapı için ($Ra = 10^5$, $Kr = 10$) ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkileri,	74
Tablo 13. Nanopartikül katı hacim oranının ve nanoparçacık şekillerinin $R = 0.4$ köşe bölme yarıçapı için ($Ra = 10^5$, $Kr = 10$) ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkileri,	74
Tablo 14. Elde edilen sonuçların literatürler ile kıyaslanması	76

TEŞEKKÜR

Çalıőmamın her aőamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fatih Selimefendigil' e, bilgi ve tecrübesi ile makine mühendisliği'ni kazanmam için bana yön veren, öğrenim hayatımın tüm zorlu aőamalarında her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Hatice Yorulmaz'a, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan eőime ve aileme yürekten teşekkür ederim.

Aslı AKYOL İNADA
Manisa, 2017



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Nanopartikül Şekil Etkisinin ve İletken Köşe Bölmesinin Nanoakışkanla Dolu Bir Kavitede Doğal Taşınım Etkisinin Sayısal Analizi

Aslı AKYOL İNADA

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Fatih SELİMEFENDİGİL

Bu tez çalışmasında farklı nanopartikül şekillerine sahip nanoakışkan ile köşe bölmeli kare boşluk içerisinde doğal konveksiyonunun sayısal incelenmesi yapılmıştır. Çalışmada amaçlanan elektronik ekipmanların soğutulması, güneş kollektörleri, gıda, tekstil ve kimya endüstrisi gibi termal mühendislik uygulama alanı olan konularda ısı ve akış özelliklerini etkilemek; ısı transfer miktarını mevcutta kullanılan pasif yöntemler ile iyileştirmektir. Özellikle son yıllarda ısı transferi akışkanında kullanımı yaygınlaşan nanopartiküllerin eklenmesi, nanoteknolojinin termal mühendislik problemlerine uygulanması yaygınlaşmıştır. Bu çalışma kapsamında nanopartikül temel ısı transfer akışkanı olan suya eklenmiştir. Çalışmada ayrıca küresel şekil dışındaki nanoparçacıklarda kullanılmıştır. Bu sayısal incelemenin çözümleri Comsol programında sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkan olarak SiO_2 – Su, partikül şekli olarak silindirik, küresel, brick ve blade tipleri kullanılmıştır. Isı transfer özellikleri ve akışkan karakteristikleri eş akış eğrilerinin, eş sıcaklık alanlarının, lokal ortalama Nusselt sayısının değişiminin verdiği sonuçlara göre tayin edilmiştir. Eş akış eğrileri ve sıcaklık alanları, farklı Rayleigh değerlerinde ve farklı nanopartikül hacim oranlarında değişen köşe bölmesi yarıçapına göre incelenmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre ısı transferini etkileyen temel parametreler incelenmiş, ısı transferi açısından uygun olan parametrik kombinasyonlar belirlenmiş, elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nanopartikül, nanopartikül şekli, ısı transferi, doğal konveksiyon, pasif iyileştirme metodu, köşe bölmesi, sonlu elemanlar yöntemi.

2017, 102 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Effect of the Nanoparticle Shape and Conducting Corner Partition on the Natural Convection in a Nanofluid Filled Square Cavity

Ash AKYOL İNADA

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih SELİMEFENDİGİL

In this study, numerical analysis of natural convection in square cavity with corner partition and nanofluids of different particle shapes were performed. Passive techniques are used to improve the heat transfer characteristics such as in solar collectors, food, textile and chemical industry and electronic equipment cooling. Recently, the use of nanoparticles in heat transfer fluids has become widely applied in many thermal engineering problems. In this study, nanoparticles of different shapes were used in water to study their effects on the fluid flow and heat transfer characteristics for the natural convection in a corner partitioned cavity. A commercial code COMSOL which is based on finite element method was used to solve the resulting governing equations. SiO₂ - water nanofluid with cylindrical, spherical, brick and blade types in particle shapes were utilized. Streamlines, isotherms, local and average Nusselt number plots were used for determine the change of fluid flow and heat transfer characteristics. Effects of various pertinent parameters on the thermal performance of the system were determined.

Keywords: Nanoparticle, nanoparticle shape, heat transfer, natural convection, passive method, corner partition, finite element method.

2017, 102 pages

1.GİRİŞ

Isı transferi kavramı günümüzde yaşamımızın bir parçası olup birçok uygulamada önemli bir rol oynamaktadır. Yaşam boyu devam eden enerji gereksinimimiz ve enerji kaynaklarımızın kısıtlılığı ısı transferi üzerine çalışmaların artmasını sağlamakta, hızla gelişen teknoloji ile birlikte ısı transferine olan ihtiyaç artmakta, iyileştirme üzerine araştırma ve geliştirmelere önem verilmektedir. Enerji santralleri, iklimlendirme ve soğutma sistemleri, elektronik sistemler, otomotiv sektörü, gıda sektörü gibi birçok endüstri bunun içerisinde yer almakta, verimliliğin artması beklenmektedir.

Gıda sektöründe soğuk zincirlerin, yiyeceklerin bozulmaması ve tazeliğini koruması için ısı transferini en iyi şekilde sağlaması gerekir. Otomotiv sektöründe üretilen bir jantın, döküm kalıbında homojen bir şekil alması ve metalurjik özelliklerinin sağlanması için kontrollü bir ısı transferi gereklidir. İnşaat sektörü uygulamalarında soğuk havalarda dökümü yapılan betonun çatlamasını önlemek için ısıtma işlemi yapılması gerekmektedir. Çok katlı bina uygulamalarında cephelere bağlı olarak aynı anda yapılan ısıtma, soğutmanın verimliliğinin düzgün olması gerekmektedir. Bu gibi birçok örnek ısı transferinin önemini vurgulanmasını sağlamaktadır.

Günümüzde ısı transferini arttırmaya yönelik çalışmalar giderek artmaktadır. Isı transferini artırma teknikleri genel olarak aktif ve pasif yöntemler olarak iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Aktif teknikler dış güç kaynağının eklenmesiyle ısı transfer oranında iyileştirmeyi sağlayan yöntemdir. Pasif teknikler ise direkt dış güç kaynağı gerektirmeden ısı transfer oranında iyileştirmeyi sağlayan yöntemdir. Pasif teknikler, genellikle akış kanalında, yüzeyde veya geometride değişiklikler kullanılır veya ilave bir cihaz dahil ederler. Etkili ısı transfer yüzey alanını arttıran uzatılmış yüzeyler haricinde, pasif kenarlar mevcut akış davranışını bozarak ya da değiştirerek daha yüksek ısı transfer katsayıları geliştirmektedir. Aktif teknikler söz konusu olduğunda dış güç kaynağının ilavesi akış modifikasyonunu ve ısı transfer oranındaki iyileşmeyi kolaylaştırır. Yüzey titreşimi, akışkan titreşimi, enjeksiyon ve elektrostatik alanlar aktif yöntemler olarak örneklendirilmektedir. Genişletilmiş yüzeyler, işlenmiş yüzeyler, dönmeli akış cihazları ve sarmal tüpler ise pasif tekniklere örnek verilmektedir. Karma teknikler ise aktif ve pasif tekniklerin birlikte kullanılmasıyla oluşan yöntem olmaktadır.

Isı transferi akışkanı olarak kullanılan etilen glikol, su ve motor yağının performansları düşüktür. Bu nedenle ısı transferi ekipmanlarında istenilen performans elde edilememekte, yeni tasarım ekipmanların küçülmesi engellenmekte ve elektronik sistemlerde ısınma problemleri ortaya çıkmaktadır. Bunun üzerine yapılan çalışmalarda ısı transferi performansını arttırmak için temel akışkan içerisine ısı iletkenliği daha yüksek olan (Cu, Au, Ag ya da Al_2O_3 , CuO, SiO_2 ve TiO_2) gibi katı partiküllerin eklenmesi fikri ortaya çıkmıştır. Akışkan içerisine mikrometre boyutlarda katı partiküllerin eklenmesi kanallarda ve borularda tıkanma ve

çökelmeye neden olduğundan endüstride bu yöntem tercih edilmemektedir. Son yıllarda nanometre boyutlarda partiküllerin üretilmesi üzerine çalışmalar artmış üretim teknikleri geliştirilmiştir. Nanometre boyutlardaki partiküllerin temel akışkan içerisine eklenmesi ile ısı transferi yüksek olan bu akışkanlara nanoakışkanlar denilmiştir. Nanoakışkanlar mekanik alaşımlama, kimyasal sentez ve gaz fazda sentez gibi yöntemler ile üretilmektedir. Nanopartiküllerin ısıtma ve soğutma sıvılarına eklenmesi ile ısı transfer performansı önemli ölçüde iyileştirmektedir ve hazırlanan akışkanın homojen ve kimyasal özelliklerini koruyan bir süspansiyon olması gerekmektedir.

Son yıllarda nanoakışkanlar üzerine bu tip üretim yöntemleri gelişmekte, ısı değiştiricilerde, güneş kolektörlerinde, elektronik ekipmanların soğutulmasında, taşıma, tekstil ve gıda endüstrilerindeki uygulamalarda verim artmaktadır.

Bu çalışma kapsamında farklı nanopartikül şekillerine sahip nanoakışkan ile köşe bölmeli kare boşluk içerisinde doğal konveksiyonunun sayısal incelemesi yapılmıştır. Çalışmada kavite içerisinde fan kullanmak yerine geometride değişiklik yapılmış, köşe bölmesi eklenerek pasif yöntem kullanılmıştır. Nanoakışkan olarak SiO_2 – Su, partikül şekli olarak silindirik, küresel, brick ve blade nanopartikül tipleri kullanılmıştır. Boşluğun sol üst köşesine r yarıçapında çeyrek dairesel iletken bir bölüm eklenmiştir. Analiz de sınır şartları olarak sol dikey duvar T_h sabit sıcaklığında, sağ dikey duvar T_c sabit sıcaklığında, alt ve üst duvarlar ise adyabatik olarak alınmıştır. Isı transfer özellikleri ve akışkan karakteristikleri eş akış eğrilerinin, lokal ve ortalama Nusselt sayısının değişiminin verdiği sonuçlara göre tayin edilmiştir. Farklı Rayleigh sayısı değerlerinde ve farklı nanopartikül hacim oranlarında değişen köşe bölmesi yarıçapına göre eş akış ve sıcaklık eğrilerinin ve ısı transfer artışının değişimi simülasyonlar sonucunda elde edilen sonuçlara göre değerlendirilmiştir. Aynı zamanda elde edilen sonuçlar ile literatür çalışmalarındaki sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1.1 Literatür Özeti

Kavite içerisinde doğal taşınımı etkilemek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazılarında aşağıda değinilmiştir.

Ghalambaz ve ark. [1] kare bir kavite içerisine yerleştirilmiş olan esnek salınımlı bir kanat üzerinde doğal taşınım ile ısı transfer değişimini akışkan elastik duvar etkileşimi altında incelemiştir. Yapılan bu çalışmanın sonucunda titreşimli kanadın boyutsuz genlik düzeyinin artırılmasının Nusselt sayısını önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir.

Khatamifar ve ark. [2] kare boşlukta diferansiyel ısıtılmış bölmenin doğal konveksiyon ile ısı transferini incelemiştir. Boşluktaki bölme varlığının ısı ve akış özellikleri için önemli etkiye sahip olduğunu, ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısı ile arttığını, ancak bölme kalınlığının azaldığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca bölme konumunun dikkate alınan Rayleigh sayısının aralığı için ortalama Nusselt sayısı üzerinde önemsiz bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Khanfer ve ark. [3] sıcak duvara bağlı diferansiyel ısıtılmış ince bir gözenekli fin ile laminar doğal konveksiyonla ısı transferini incelemiştir. Bu araştırmanın sonucunda, çeşitli uzunluklarda, pozisyonlarda ve diferansiyel ısıtılmış kavite için karşılaştırıldığında fin eğim açısının ortalama Nusselt sayısının arttığını göstermişlerdir. Optimal ısı transferini sağlamak için gözenekli fini, alt yüzeyin yakınına veya dikey sıcak yüzeyin ortasına 90^0 açıyla yerleştirilmesi gerektiğini bulmuşlardır. Son olarak ortalama nusselt sayısı için sayısal bir korelasyon, finin uzunluğu ve konumu, Darcy sayısı, Rayleigh sayısının aralıkları kullanılarak fonksiyon olarak geliştirmişlerdir.

Khanfer ve ark. [4] Cu-Su nanoakışkanını kullanarak iki boyutlu bir kavite içerisinde çeşitli parametreler için ısı transferinin arttırımını araştırmışlardır. Nanopartiküllerin artan hacim kesri ile nanoakışkanların ısı transfer hızının arttığını ve Nusselt sayısının yaklaşık olarak %25 arttığını bulmuşlardır.

Fontes ve ark. [5] kare bir muhafaza içerisinde Cu-Su nanoakışkanının ısı transferini doğal konveksiyon ile sayısal olarak incelemiştir. Rayleigh sayısının artması ile ısı transferinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Teamah ve ark. [6] kare boşlukta manyetik alanın varlığında ve üniform ısı üretiminde/soğurmada nanoakışkanlar kullanarak doğal taşınım ile ısı transferinin arttırılmasını sayısal olarak incelemiştir. Rayleigh sayısı arttıkça konveksiyonun arttığını, sabit hacim kesrinde $q=1$ iken Ha sayısı arttığını, Nu sayısının azaldığını genel olarak manyetik alanın Nu sayısını azalttığını, tüm partiküllerde hacim kesri arttıkça Nu sayısının yaklaşık %15 arttığını bulmuşlardır.

Abu-Nada ve ark. [7] farklı ısı iletkenlikleri ve değişen viskozite modelleri kullanarak CuO-EG-Su nanoakışkanı kullanarak doldurulmuş diferansiyel ısıtılmış bir muhafazada sabit doğal konveksiyonla ısı transferi problemini araştırmışlardır.

Yüksek Rayleigh sayıları için ortalama Nusselt sayısı, Brinkman model kombinasyonu kullanıldığında nanopartikül hacim oranının artan değerleri ile artarken, Namburu ve diğerlerinin model kombinasyonu kullanıldığında nanopartikül hacim oranı arttıkça azaldığını tahmin etmişlerdir. Yüksek en-boy oranlarına sahip muhafazalar için ortalama Nusselt sayısının, düşük en-boy oranlarına sahip muhafazalara kıyasla daha fazla bozulma yaşanacağını öngörmüşlerdir.

Aminossadati ve ark. [8] nanoakışkanlar dolu bir muhafazada alt duvar üzerine yerleştirilmiş bir ısı kaynağının doğal taşınım ile soğutması üzerine sayısal bir çalışma yapmışlardır. Nanopartiküllerin saf suya eklenmesinin özellikle düşük Rayleigh sayılarında soğutma performansını arttığını, nanopartiküllerin türünün, ısı kaynağının uzunluğunun ve konumunun ısı kaynağının sıcaklığını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varmışlardır.

Abu-Nada ve Oztop [9] Cu-Su nanoakışkanı ile doldurulmuş iki boyutlu bir muhafazada eğim açısının ısı transferi ve akışkan akışı üzerindeki etkilerini doğal taşınım ile sayısal olarak analiz etmişlerdir. Isı transferi, Rayleigh sayısının neredeyse doğrusal olarak artması ile geliştiğini ancak nanopartikül konsantrasyonunun Nusselt sayısı üzerindeki etkisinin düşük hacim oranında, yüksek hacim oranına göre daha belirgin olduğunu, muhafazanın eğim açısı 90^0 iken ısı transferinin daha düşük olduğunu bulmuşlardır.

Sheremet ve ark. [10] kare bir kavite içerisinde bulunan sıcak katı bloğun yerleştirilmesi ile doğal taşımli nanoakışkanların entropi oluşum analizinin hesaplama çalışmasını yapmışlardır. Eklenmiş olan katı bloğun ve izotermik soğutucunun, nanopartiküllerin Rayleigh sayısı ve katı partikül hacim oranı parametreleri farklı geometri oranlarında gerçekleştirmişlerdir. Kavite içerisinde nanopartiküllerin ilave edilmesinin, taşımli akışın zayıflamasına ve ısı transferinin artmasına neden olduğunu bulmuşlardır.

Nikfar ve Mahmoodi [11] dalgalı yan çeperli bir oyuk içerisinde Al_2O_3 -Su nanoakışkanının laminar doğal taşımli problemi Petrov-Galerkin yöntemi kullanarak araştırmışlardır. Rayleigh sayısı 10^3 iken sıcak duvarın ortalama Nusselt sayısı nanopartikül hacim oranının artması ile artarken, Maiga korelasyonunda elde edilen Nusselt sayısı diğer Rayleigh sayılarında nanopartikül hacim oranının azaltıcı bir fonksiyon olduğunu bulmuşlardır.

Houshang Mahmoudi ve ark. [12] Cu-Su ile doldurulmuş olan kare bir boşluğa monte edilen yatay ısı kaynağının soğutmasını doğal taşınım ile sayısal olarak incelemişler. Nusselt sayısının ısıtıcının uzunluğundaki artışla azaldığını, belirli bir Rayleigh sayısında ve ısı kaynağı geometrisinde ortalama Nusselt sayısının katı partikül hacim oranındaki artış ile doğrusal olarak arttığını gözlemlemişlerdir.

Putra ve ark. [13] su bazlı Al_2O_3 ve CuO nanoakışkanları için bir uçtan ısıtılmış diğer tarafında soğutulmuş yatay silindir içerisindeki nanoakışkanları doğal taşınım ile deneysel olarak incelemişlerdir. Partikül konsantrasyonu, partikül

malzeme boyutu ve geometri gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir. Doğal taşınım ısı transferinde sistematik şekilde bozulmanın meydana geldiğini ve partikül konsantrasyonu artıkça bozulmanın arttığı tespit edilmiştir. Su bazlı CuO nanoakışkanın su bazlı Al₂O₃ nanoakışkanından daha çok bozulma gösterdiğini belirlemişlerdir.

Khorasanizadeh ve ark. [14] kavite içerisine yerleştirilmiş bir iletken engelin Cu-Su nanoakışkanının doğal taşınım ve entropi oluşumunu sayısal olarak incelemişlerdir. Ra=10⁴'de taşınım ile ısı transferinin çok zayıf olduğunu, Nusselt sayısının az olduğunu, yüksek Rayleigh sayılarında gelişen ortalama Nusselt sayısı partikül hacim oranını arttırarak bölmenin orta noktasına doğru yer değiştirdiği sonucuna varmışlardır.

Arefmanesh ve ark. [15] TiO₂-Su nanoakışkanı ile doldurulmuş iki farklı ısıtılmış kare kanalın doğal taşınım ile akışkanı ve ısı aktarımı sayısal olarak incelenmişlerdir. Kanallar arasındaki boşluğun genişliğini ve Rayleigh sayısını arttırarak, kare kanalların üst duvarları arasındaki boşluklarda birden fazla girdap oluştuğunu ve nanopartikül hacim oranının artmasıyla ortalama Nusselt sayısının arttığını gözlemlemişlerdir.

2. DOĞAL TAŞINIM ISI TRANSFER MEKANİZMASI

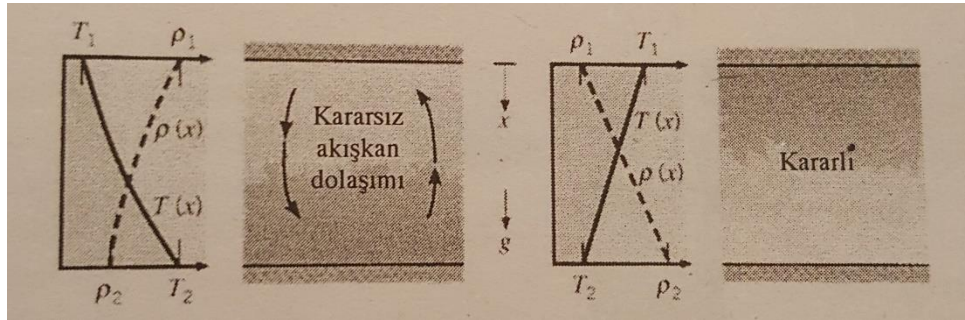
Taşınım, bir katı yüzey ile ona bitişik, hareket halindeki sıvı yada gaz arasında enerji aktarım türüdür [16]. Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa, taşınım ısı aktarımı da o kadar büyük olur. Taşınım genel olarak zorlanmış taşınım ve doğal taşınım olarak ikiye ayrılır. Taşınım için kullanılan Newton'un soğuma yasası aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$Q = hA(T_w - T_f) \quad (2.1)$$

Burada Q ısı transfer miktarı, A katı-sıvı arayüzey alanı, T_w duvar sıcaklığı ve T_f akışkan yığın sıcaklığı (duvardan çok uzaktaki sıcaklık)'tır. Taşınımda ısı transfer katsayısı (h) aşağıdaki durumlara göre değişmektedir;

- **Sıvının Akışı:** laminar, türbülanslı ya da sınır tabakası şartları vb.
- **Sıvının termofiziksel özellikleri:** termal iletkenlik k, dinamik viskozite μ , yoğunluk ρ , öz ısı c_p , akışkanın hızı V ve genişleme katsayısına bağlıdır.
- **Yüzey şartları:** yüzey pürüzlülüğüne
- **Yüzeyin oryantasyonu veya geometrisi:** plaka, tüp vb. yatay ve dikey oluşuna bağlı olmaktadır

Bir sıvının ısıtılmasıyla veya soğutulmasıyla yoğunluk farkına bağlı olarak kaldırma kuvveti meydana gelmektedir, bu doğal taşınımı ifade etmektedir. Bir akışkan içerisinde yoğunluk gradyanını ortaya çıkarabilecek durumlardan biri olan sıcaklık gradyanına bağlı yoğunluk farkıdır. Gazların ve sıvıların yoğunluğu sıcaklığa bağlıdır. Yoğunluk artan sıcaklık ile birlikte akışkanın genişlemesinden dolayı azalmaktadır ($\partial\rho/\partial T < 0$) [17].

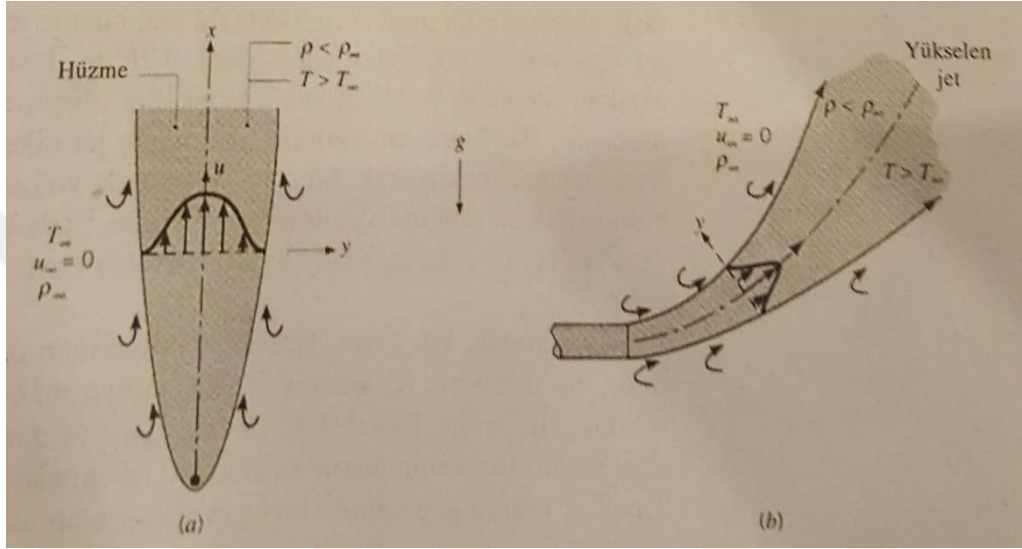


Şekil 1. Farklı sıcaklıklara sahip büyük yatay levhalar arasındaki bir akışkan (a) Kararsız sıcaklık gradyanı. (b) Kararlı sıcaklık gradyanı [17].

$$\text{a) } \frac{dT}{dx} > 0, \frac{d\rho}{dx} < 0 \quad \text{b) } \frac{dT}{dx} < 0, \frac{d\rho}{dx} > 0$$

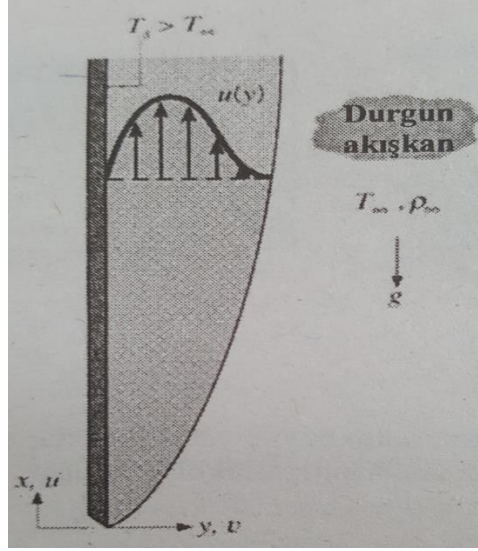
Şekil 1'de bir akışkan farklı sıcaklıkta ($T_1 \neq T_2$) iki büyük yatay levha arasında bulunmaktadır. (a) durumunda alt levhanın sıcaklığı üst levhadan daha yüksektir ve bu nedenle yoğunluk yerçekimi yönünde azalmaktadır. Eğer sıcaklık

farkı kritik kritik bir değeri geçerse, koşullar kararsız olur ve kaldırma kuvvetleri sürtünme kuvvetlerinin engelleyici etkisini yenmeye başlar. Üst tabakalardaki daha yoğun akışkan üzerine etkiyen yerçekimi kuvveti, alt tabakalardaki daha hafif akışkan üzerine etkiyen kuvvete baskın gelir ve şekildeki dolaşım hareketi gerçekleşir. (b) durumunda $T_1 > T_2$ 'dir ve yoğunluk yerçekimi kuvveti yönünde azalmamaktadır. Koşullar kararlıdır ve akışkan hareketi söz konusu değildir. (a) durumunda ısı geçişi alt yüzeyden üst yüzeye doğru doğal taşınım ile (b) durumunda ise üstten aşağı doğru iletim ile gerçekleşir [17].



Şekil 2. Geniş ve durgun bir ortamda kaldırma kuvvetlerinin etkisiyle oluşan serbest sınır tabaka akışları. (a) Sıcak bir tel üstünde hüzme oluşumu. (b) Sıcak bir akıntıyla ilgili yükselen jet oluşumu [17]

Doğal taşınımında akış bir yüzey ile sınırlandırılarak sınıflandırılabilir. Yüzey olmaması durumunda serbest sınır akışı, bir hüzme veya yükselen jet şeklinde olabilir. Şekil 2. Hüzme sıcak bir nesne çevresinde yükselen akışkan tarafından oluşturulur. Hüzme Şekil 2a'da tel tarafından ısıtılan akışkan kaldırma kuvvetlerinin azalması sonucunda oluşur. Şekil 2b'de kaldırma kuvvetinin etkisiyle jet dikey yönde harekete başlar [17].



Şekil 3. Isıtılan bir dikey levha üzerinde sınır tabakanın gelişimi [17]

Şekil 3’de gösterilen levha geniş ve durgun bir akışkan içinde yer almaktadır. Levhanın yüzey sıcaklığı akışkanın sıcaklığından daha yüksektir, $T_s > T_\infty$ bunun sonucunda levhaya yakın olan akışkanın yoğunluğu uzakta olana göre daha azdır. Bunun sonucunda kaldırma kuvvetleri doğal taşınım sınır tabakasını oluşturur ve akışkan yukarıya doğru yükselirken durgun bölgedeki akışkan sınır tabakası içerisine girer. Hız $y = 0$ ’da olduğu gibi $y = \infty$ ’da sıfırdır. Doğal taşınım sınır tabakası $T_s < T_\infty$ koşulunda da gelişir, fakat akışkan hareketi bu durumda aşağı doğru olur [17].

Doğal Taşınımın Avantaj ve Dezavantajları

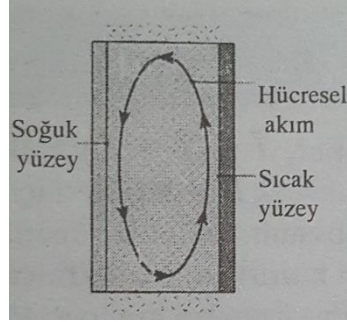
- Akışkanın hareketi için ekipmana ihtiyaç duyulmaz. Sessizdir.
- Isı transfer katsayıları düşüktür. Güç tüketimi yoktur. Geniş alan gerektirir.
- Doğal taşınım yoğunluk ve yerçekimine bağlı olduğundan, yerçekimi yönü ve yüzeyin oryantasyonu önemli bir rol oynamaktadır.
- Akış için ekipman gerektirmediğinden sessizdir.
- Neredeyse hiç titreşim yoktur.
- Geniş alan gerektirir.
- Kontrolü zordur.

2.1. Kapalı Çerçeveler İçin Doğal Taşınım Korelasyonları

Mühendislik uygulamalarında kapalı bir çerçeve içerisindeki akışkan ile çerçevenin farklı sıcaklıktaki yüzeyleri arasında ısı geçişini içeren birçok örnek vardır [18].

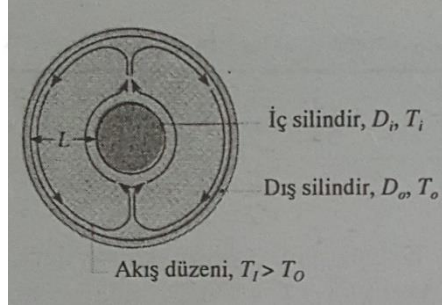
Dikdörtgen oyuk geometrisi Şekil 4’de verilmiştir. Bu geometride karşılıklı çeperler farklı sıcaklıklarda tutulmuştur ($T_1 > T_2$), diğer yüzeyler ise çevreden yalıtılmıştır. Sıcak ve soğuk yüzeyler ile yatay yüzey arasındaki τ açısı 0° (alttan ısıtılan yatay oyuk), 90° (yan yüzeyden ısıtılan dikey oyuk) ve 180° (üstten ısıtılan yatay oyuk) arasında değişebilir. Oyuktaki ısı akışı,

Şekil 6’da gösterildiği gibi akışkan hareketi, akışkanın sıcak yüzey boyunca yükseldiği ve soğuk yüzey boyunca alçaldığı bir hücresel dolaşım hareketi ile tanımlanabilir. Küçük Rayleigh sayıları için $Ra \leq 10^3$, kaldırma kuvvetinin yarattığı akış zayıftır ve ısı geçişi akışkan boyunca iletim ile gerçekleşir. Rayleigh sayısı arttıkça hücresel akış artar ve yan yüzeylerde ince sınır tabakası şeklinde yoğunlaşır [18].



Şekil 6. Farklı yan yüzey sıcaklıklarına sahip dikey bir oyukta hücresel akış [18]

Uzun, yatay eşeksenli silindirler ve eş merkezli küreler arasındaki boşlukta doğal taşınım ile ısı geçişi Şekil 7’de gösterilmiştir. İç silindir ısıtılıyor dış silindir soğutuluyorsa ($T_i > T_o$), akışkan iç silindir boyunca yükselir dış silindir boyunca ise alçalır. Eğer $T_i < T_o$ ise hücresel hareket tersine döner. Silindirin birim uzunluğunda ısı geçişi (W/m) olarak,



Şekil 7. Uzun, yatay, eşeksenli silindirler veya eşmerkezli küreler arasındaki boşlukta doğal taşınım akışı [18]

$$q' = \frac{2\pi k_{eff}}{\ln(D_o / D_i)} (T_i - T_o) \quad (2.5)$$

şeklinde yazılır. k_{eff} için önerilen bağıntı ise,

$$\frac{k_{eff}}{k} = 0.386 \left(\frac{Pr}{0.861 + Pr} \right)^{1/4} (Ra_c^*)^{1/4} \quad (2.6)$$

Burada

$$Ra_c^* = \frac{[\ln(D_o / D_i)]^4}{L^3 (D_i^{-3/5} + D_o^{-3/5})^5} Ra_L \quad (2.7)$$

olmaktadır ve $10^2 \leq Ra_c^* \leq 10^7$ aralığında kullanılabilir. Eşmerkezli kürelerde ısı geçişi aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$q = k_{eff} \pi \left(\frac{D_i D_o}{L} \right) (T_i - T_o) \quad (2.8)$$

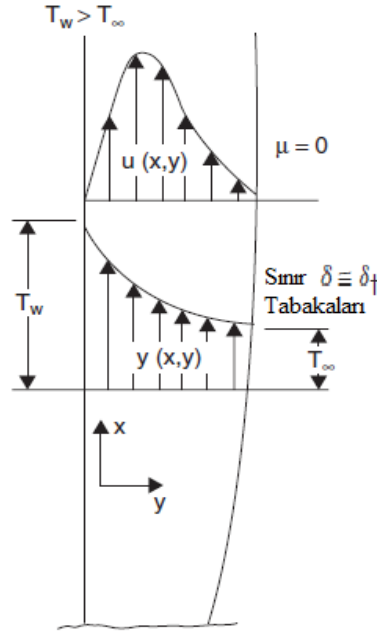
$$\frac{k_{eff}}{k} = 0.74 \left(\frac{Pr}{0.861 + Pr} \right)^{1/4} (Ra_s^*) \quad (2.9)$$

$$Ra_s^* = \left[\frac{L}{(D_o D_i)^4} \frac{Ra_L}{(D_i^{-7/5} + D_o^{-7/5})^5} \right] \quad (2.10)$$

şeklindedir ve $10^2 \leq Ra_s^* \leq 10^4$ aralığında iyi sonuçlar vermektedir [18].

2.2. Doğal Taşınım Denklemleri

Doğal taşınımında iki boyutlu laminar sınır tabakası denklemi aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 8. Dikey plakadaki doğal taşınımlı sınır tabakasının sıcaklık ve hız profilleri [19]

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} &= 0 \\ \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) &= g \beta (T - T_\infty) + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\ \rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) &= k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Doğal taşınım da akışın laminar yada türbülanslı olduğunu gösteren boyutsuz sayı Grashof sayısıdır [19].

$$Gr = \frac{g\beta(T_w - T_f)L^3}{\nu^2} \quad (2.12)$$

Burada β akışkanın hacim sıkıştırılabilirliği, T_w ve T_f duvar ve akışkan yığın sıcaklığıdır. L karakteristik uzunluk ve ν kinematik viskozitedir. Laminardan türbülanslı doğal taşınıma geçişi belirtmek için bir diğer boyutsuz sayı ise Rayleigh sayısıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (2.13)$$

Dikey bir plakada genellikle $Ra > 10^8$ genellikle türbülanslı akış rejimidir. Daha genel sonuçlar bulmak için Newton'un soğuma kanununda tanımlanan ısı transfer katsayısı bir miktar daha boyutsuzlaştırılarak Nusselt sayısı olarak ifade edilmiştir [19].

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (2.14)$$

Burada k akışkanın termal iletkenliği ve L karakteristik uzunluğudur. Isı transfer katsayısı x konumunda aşağıdaki gibi tanımlanır.

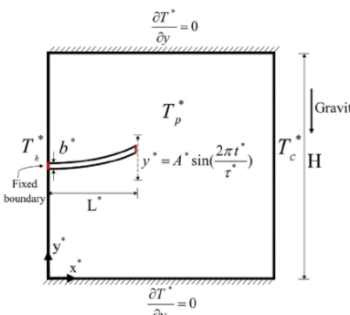
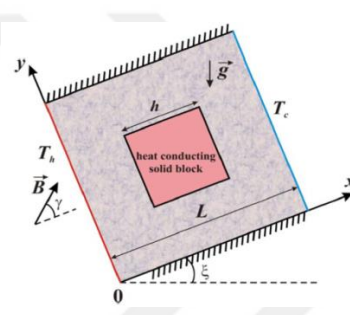
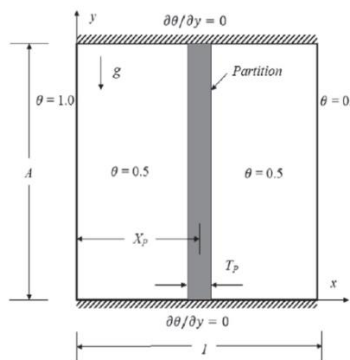
$$h_x = \frac{q_x}{T_w - T_\infty} \quad (2.15)$$

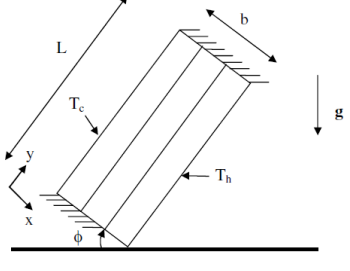
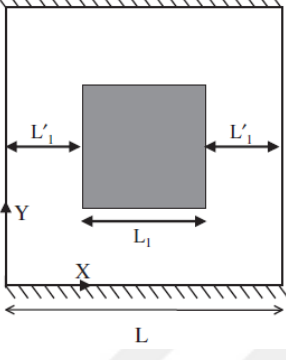
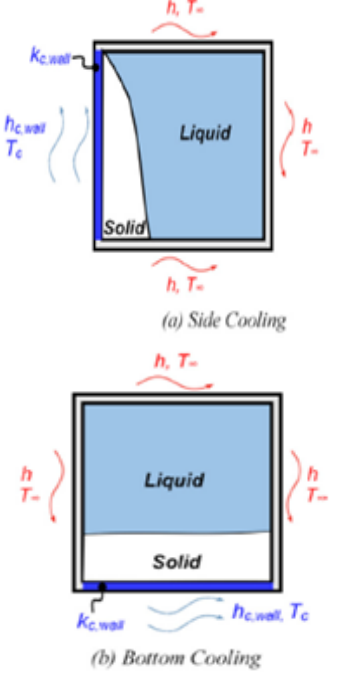
Nusselt sayısının ortalama değeri, ortalama ısı transfer katsayısının baz alınarak aşağıdaki şekilde gösterilmektedir [19].

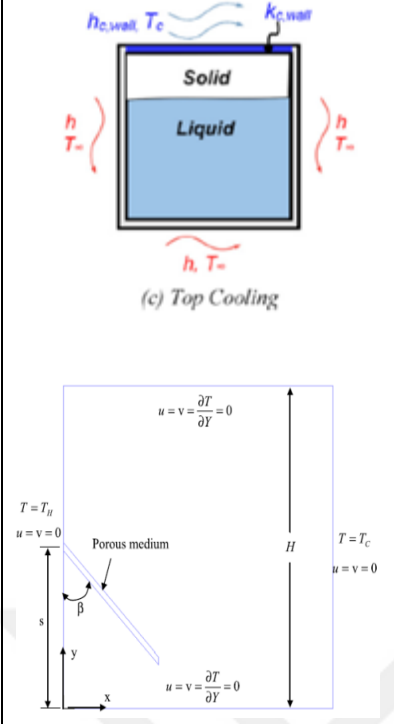

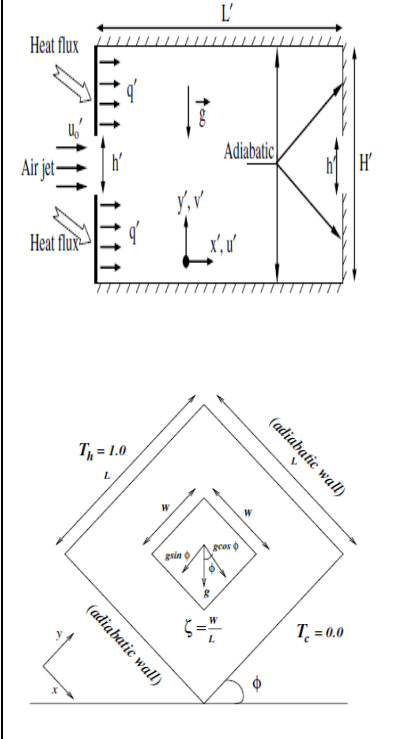
$$Nu_m = \frac{h_m L}{k} \quad \text{burada} \quad h_m = \frac{1}{L} \int_0^L h_x dx \quad (2.16)$$

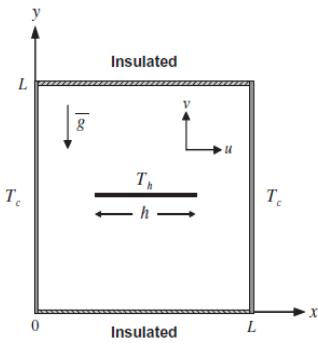
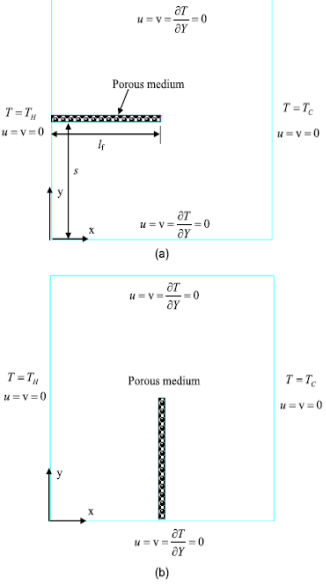
Literatürde doğal taşınımı ele alan çeşitli çalışmalar Tablo 1'de yer almaktadır. Bu çeşitli çalışmalarda kavite içerisine yerleştirilmiş olan fin yada bölmenin ısı transferine etkisi incelenmiştir.

Tablo 1. Çeşitli geometrilerde kavitede doğal taşımının ısı transferine etkisi ile ilgili çalışmalar

Geometri	Yazar	Aralık	Yöntem	Sonuç
	<p>M. Ghalambaz E. Jamesahar M.A. Ismael A.J.Chamkha [1]</p>	<p>$Ra = 10^4 - 10^7$ $L = 0.1 - 0.4$ $\tau = 0.01 - 1$ $kr = 1 - 1000$ $E = 10^8 - 10^{13}$</p>	SEY	<p>Sonuçlar titreşimli kanadın boyutsuz genlik düzeyinin artırılmasının Nusselt sayısını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.</p>
	<p>C. Sivaraj M.A. Sheremet [20]</p>	<p>$0 \leq Ha \leq 50$ $0^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ $-45^\circ \leq \xi \leq 90^\circ$ $Pr = 1$ $Da = 10^{-2}$ $Ra = 10^5 - 10^9$</p>	SHM	<p>Genel olarak sonuçlar, manyetik alanın dahil edilmesi oyukta taşımınla ısı transfer oranını azalttığını göstermektedir. Ayrıca, uygulanan manyetik alanın açısındaki bir artışın, ortalama Nusselt sayılarında doğrusal olmayan bir varyasyon oluşturduğu bulunmuştur.</p>
	<p>M. Khatamifar W. Lin S.W. Armfield D. Holmes M.P. Kirkpatrick [2]</p>	<p>$Ra = 10^5 - 10^9$</p>	SHY	<p>Bölmenin varlığı boşluktaki ısı ve akış özellikleri için önemli etkilere sahiptir. Nusselt sayısının Rayleigh sayısı ile arttığını, ancak bölme kalınlığının azaldığını göstermektedir. Ayrıca, bölme konumunun, dikkate alınan tüm Rayleigh sayı aralığı için ortalama Nusselt sayısı üzerinde önemsiz bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur.</p>

	<p>M. Rabhi H. Bouali A. Mezrhab [21]</p>	<p>$5K \leq \Delta T \leq 30K$ $Ra=10^5-10^7$ $Np=0-3$ $\Phi=45^0$</p>	<p>SHY</p>	<p>Radyasyon, ortalama Nusselt sayısını önemli ölçüde arttırmakta ve katı yüzeylerin sıcaklık değişimlerini azaltma eğilimindedir. N_p bölme sayısı arttıkça Nu sayısı azalır.</p>
	<p>A. Raji M. Hasnaoui M. Naïmi K. Slimani M.T. Ouazzani [22]</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^8$ $10^{-3} \leq kr \leq 10^3$ $N=1,4,16,64$ $1600 < N < 8100$</p>	<p>SHY</p>	<p>Elde edilen sonuçlarda bloğun alt bölümünün doğal konveksiyonun gecikmesini ve ısı transferini azalttığını göstermektedir. Isı transferinde katı blokların bağlı iletkenliğinin etkisi önemli bulunmuştur. Belirli bir N değeri için, kr'nin artması Nu'nun bir azalmasına yol açar.</p>
	<p>M.A Ezan M. Kalfa [23]</p>	<p>$k=0.2 \text{ W/MK}$ $h=20 \text{ W/m}^2\text{K}$ $T_{\infty}=10^{\circ}\text{C}$</p>	<p>KHM</p>	<p>Oyuktaki doğal konveksiyon etkisinin artması su soğutma oranını artırır. Suyun ortalama sıcaklığı, yüzdürme kuvvetlerini içeren analizin yapıldığı yerde hızla düşer. Yoğunluk akış sıcaklığı yakinken doğal konveksiyon suyun sertleşmesini büyük oranda kontrol eder. Suyun yoğunluk değişim sıcaklığına (4°C) yakın bir yerde, sıcaklık</p>

 <p>(c) Top Cooling</p>	<p>K. Khanafer A. Al Amiri J. Bull [3]</p>	<p>$30^{\circ} \leq \beta \leq 150^{\circ}$ $S = 0.25, 0.5, 0.75$ $L = 0.2, 0.35, 0.5$</p>	<p>SEY</p>	<p>değişimleri dalgalanmakta ve etki alanında gözlemlenen karşı akımlar bulunmaktadır.</p> <p>Optimal ısı transferini sağlamak için gözenekli fin, alt yüzeyin yakınına veya dikey sıcak yüzeyin ortasına ve 90° açıyla yerleştirilmesi gerektiğini göstermekte ve Optimum ısı transferi, $L = 0.5$ uzunluğundaki gözenekli fin için bulunur. Düşük Darcy sayısı için fin olmadığı durumlarda ortalama Nusselt sayısının daha düşük olduğunu göstermektedir.</p>
	<p>A.Raji M.Hasnaoui A. Bahlaoui [24]</p>	<p>$10 \leq Re \leq 5000$ $10^4 \leq Ra \leq 10^6$</p>	<p>SFY</p>	<p>Çalışmanın sonucunda, akış yapısının zorlanmış taşınım ve doğal taşınım arasında ki etkileşimden oldukça fazla etkilendiğini göstermektedir.</p>
	<p>M. K. Das K.S.Reddy [25]</p>	<p>$Ra = 10^3 - 10^6$ $15^{\circ} \leq \phi \leq 90^{\circ}$ $Kf = 0.2 - 5$</p>	<p>SHM</p>	<p>$Ra = 10^3$ e kadar ısı transfer modu iletimdir. Farklı k^* için düşük Rayleigh sayılarında eğim açısı ısı transfer üzerinde nominal etkiye sahiptir.</p>

	<p>S. Saravanan C. Sivaraj [26]</p>	$10^5 \leq Ra \leq 10^7$ $0 \leq \varepsilon \leq 1$	<p>SHY</p>	<p>Radyasyon yoluyla boşluk içerisindeki sıcaklık alanının homojenliğini göstermektedir. , taşınım mekanizmasının toplam ısı transferine katkısı, levha yatay olarak yerleştirildiğinde arttığı dikey olarak yerleştirildiğinde azaldığı bulunmuştur. Rayleigh sayısı ve plakanın uzunluğu kavitenin genelinde ısı transferini arttırmaktadır.</p>
	<p>K. Khanafer B. Alshuraian [27]</p>	$10^3 \leq Ra \leq 10^5$ $10^{-2} \leq Da \leq 10^{-6}$	<p>SEY</p>	<p>Araştırmanın sonuçlarında, çeşitli Richardson sayıları ve ısı iletkenlik oranları için farklı olarak ısıtılmış boşlukla karşılaştırıldığında yatay gözenekli bir fin'in varlığı ortalama Nusselt sayısını arttırdığını gösterdi</p>

3. ISI TRANSFERİNİ ARTTIRMAK İÇİN KULLANILAN YÖNTEMLER

Isı transferini iyileştirmek için üç çeşit yöntem vardır. Bunlar aktif, pasif ve karma metodlardır. Bergles ve arkadaşları (1983, 1991, 1995) aktif ve pasif teknik olarak 16 farklı geliştirme tekniği sınıflandırarak tanımlamışlardır [28].

3.1. Aktif Metod

Isı transferi sağlayan ortamlara ya da akışkanlara dış güç kaynağı verilerek ısı transferinin artırılmasını sağlayan metoda aktif metod denilmektedir. Mekanik parçalar, akışkan titreşimi, yüzey titreşimi, elektrostatik alanlar, enjeksiyon, vakum ve jet çarpması aktif metod uygulaması içerisinde yer almaktadır [28].

Mekanik parçalar: Sıvıyı mekanik yollarla karıştıran veya yüzeyi döndüren yardımcı maddelerdir.

Yüzey titreşimi: Öncelikle tek fazlı akışta ısı transferini geliştirmek için yüzeye yüksek veya düşük yüzey titreşimi uygulanır.

Akışkan titreşimi: Tek fazlı akışlarda 1 Hz'den ultrason yaklaşık (1 MHz) kadar etkili geliştirme tekniği olarak düşünülür.

Elektrostatik alanlar: Elektrik veya manyetik alanlar şeklinde olabilecek elektrostatik alanlar veya bunların ikisinin bir kombinasyonu, dc veya ac kaynaklarından, dielektrik sıvılar içeren ısı alışverişi sistemlerinde uygulanabilir.

Enjeksiyon: Sadece tek fazlı akışta kullanılır. Gözenekli bir ısı transfer yüzeyi aracılığı ile gazın durgun ya da hareketli akışkana enjekte edilmesiyle veya aynı akışkanın ısı transfer bölgesinin üst kısmına enjekte edilmesi ile uygulanır.

Emme: Çekirdekte ya da filmde kaynayan gözenekli bir ısıtılmış yüzeyden buhar alınmasını ya da tek fazlı akışta gözenekli ısıtılmış bir yüzey arasından akışkanın çekilmesini içerir.

Jet çarpması: Akışkanın ısı transfer yüzeyine dikey veya eğik bir şekilde ısıtma veya soğutma yönünü içerir.

3.2. Pasif Metod

Pasif ısı transfer metodu aktif metodun yanı sıra dış güç kaynağına gerek duymayan bir yöntemdir [28]. Genellikle akış kanalında geometrik değişiklikler kullanılır ya da ilave bir malzeme veya başka bir cihaz içerirler. Pasif teknik mevcut akış davranışını bozarak veya değiştirerek daha yüksek ısı transfer katsayıları geliştirir. Bu yöntemde ısı transfer oranını artırma yolu etkili yüzey alanı ve ısı transfer akışkanında kalma süresiyle ilişkilidir. Bununla birlikte basınç düşüşünde bir artış eşlik eder.

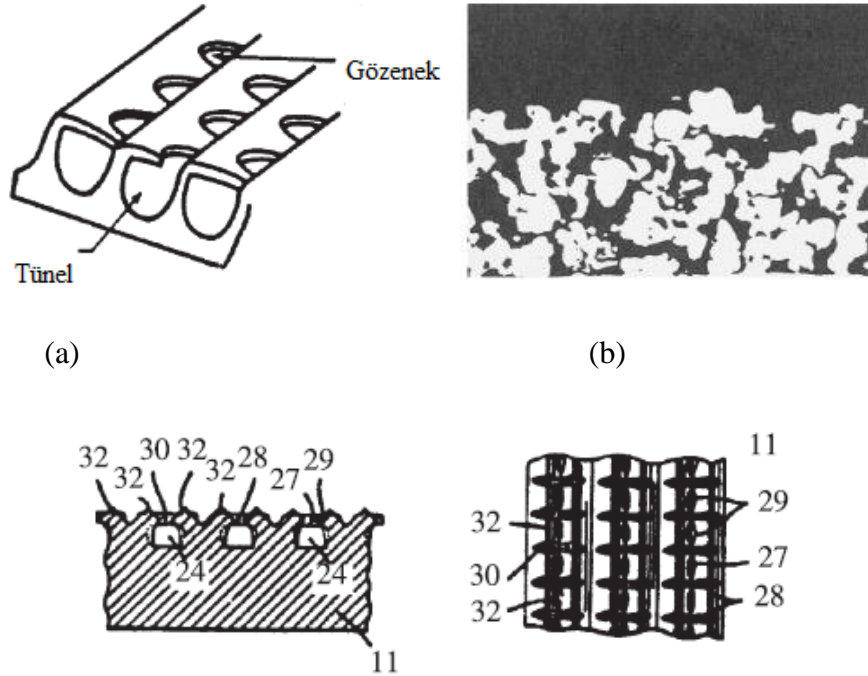
İşlem görmüş yüzeyler: Isı transfer yüzeylerinde veya kaplamalarda ince bir ölçek değişikliği yapılarak gerçekleştirilir. Bu teknik kaynama ve yoğuşmada kullanılır. Bu

teknik mikroelektronik, biyoteknoloji ve mikroelektromekanik sistemler gibi çeşitli endüstrilerdeki uygulamalarını bulmuştur. Yüzey mühendisliğinde kaydedilen ilerlemelerde, hidrofobik, hidrofilik ve süperhidrofobik (Şekil 9) yüzeyler gibi yüzey ıslanabilirliği gelişme yönünde çaba göstermiştir [29].



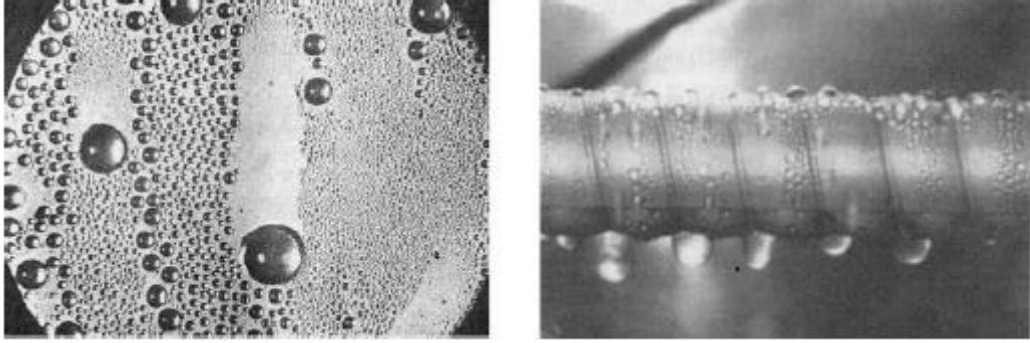
Şekil 9. Süperhidrofobik yüzeydeki su [30]

Kaynama: Bergles ve ark. çekirdek ve geçiş havuzu kaynama üzerindeki yüzey kaplama etkisini dört yıldan fazla süredir çalışmışlardır. Yüzey kaplamasını değiştirmek için yüzey yapılarının farklı tiplerini üreterek çeşitli yöntemler kullanmışlardır [28]. Bunlar; işlenmiş ve oluklu yüzeyler, şekillendirilmiş veya düzenlenmiş düşük finli yüzeyler, çok katmanlı yüzeyler, kaplanmış yüzeylerdir.



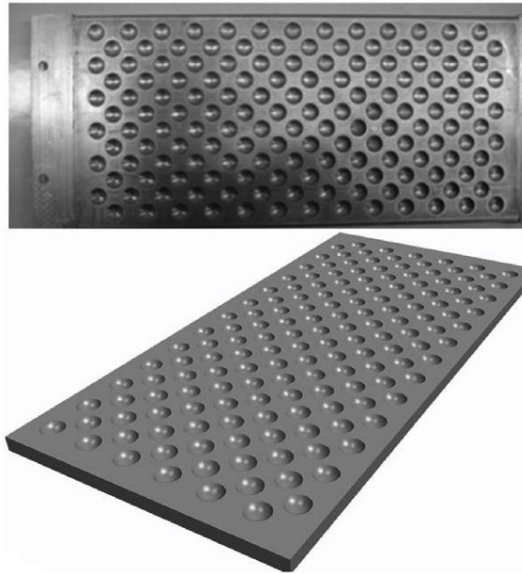
Şekil 10. Kaynamada gerçekleşen ısı transfer yüzeylerinin farklı tipleri a) farklı formdaki düşük finli yüzeyler b) sinterlenmiş partikül kaplı yüzey c) derin tırtıklı yüzey [28]

Yoğuşma: Buhar yüzeyi yoğuşma ısı transferi, öncelikle damla damla yoğunlaşmayı sağlayan yüzeyler tarafından geliştirilebilir [28]. Buradaki amaç, ısınmayı önlemek ve yoğuşma filmini, Şekil 11’de gösterildiği gibi damlacıklar haline getirmektir. Bu soğuga bağlı ısı transfer ara yüzeyinde daha iyi bir drenaja ve daha etkili buhar yenilenmesine izin verir. Bu teknik ile film yoğuşmasında ısı transferi 10 ila 100 faktöre kadar arttığı bulunmuştur.



Şekil 11. Damla damla buhar yoğuşması örnekleri a) düz bir yüzeyde (Hampson ve Ozisik, 1952) [31]; b) SAM-kaplı bir oluklu tüp üzerinde [32]

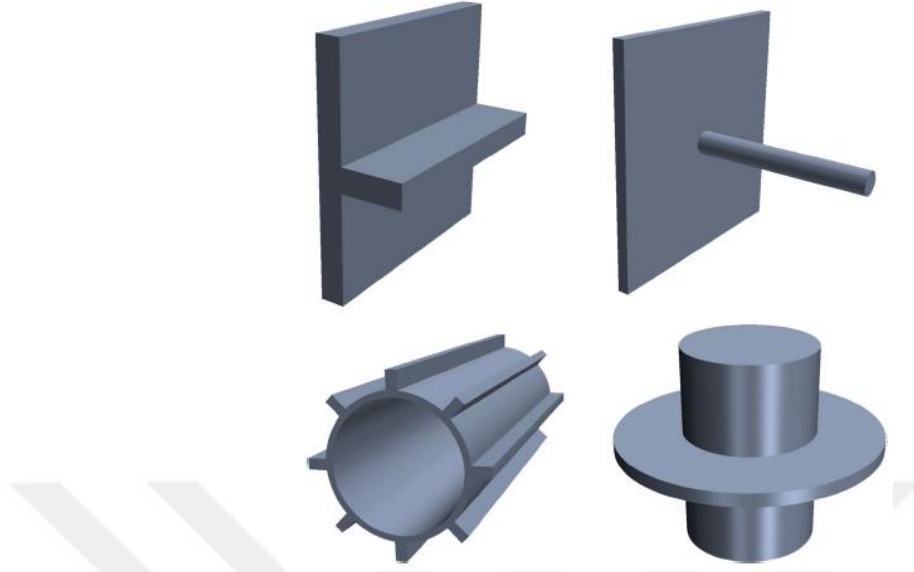
Pürüzlü yüzeyler: Genellikle akış alanındaki türbülansın artırılması için kullanılır, yüzey alanının artmamasına karşın tek fazlı akışta viskoz alt tabakayı bozarak ısı transfer katsayılarını arttırmaları. Şekilde gösterildiği gibi çukur yüzeyin basınç düşüşü üzerine önemsiz bir etkiye sahip iken ısı transferini artırır.



Şekil 12. Çukur yüzey resmi [29]

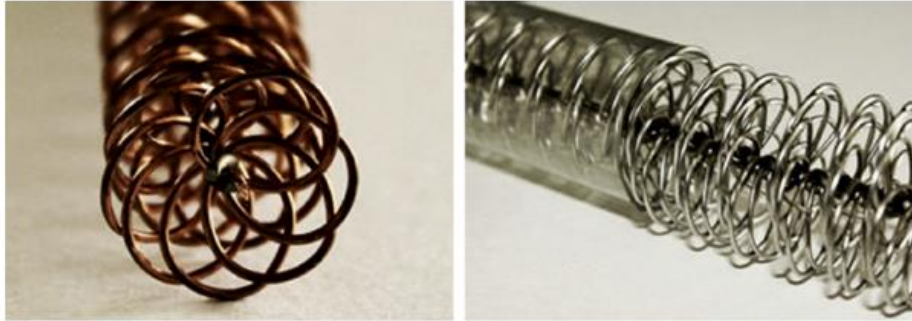
Genişletilmiş yüzeyler: Bu teknik, ısı transfer alanını arttırmak için kullanılır ve birçok ısı değiştiricide ısı transfer oranını arttırmada kullanılan yaygın bir yöntemdir. Genişletilmiş yüzeyler veya finler, klima sistemleri, kompresörler ve elektronik sistemlerin soğutulması gibi çeşitli uygulamalar içerir. Genellikle ısı iletimini arttırmak için en yüksek ısıl dirence sahip bölgeye yerleştirilirler. Şimdiye kadar

araştırmacılar tarafından dikdörtgen, ikizkenar yamuk, dönüşlü ve üçgen gibi çeşitli geometrik şekilldeki finler ile ortaya konulmuştur.



Şekil 13. Bazı fin tipleri [29]

Yerinden edilmiş güçlendirme araçları: akış kanalının içerisine yerleştirilerek ısıtılmış veya soğutulmuş yüzeylerde zorlanmış taşınım kullanarak enerji transferi gerçekleştirirler.



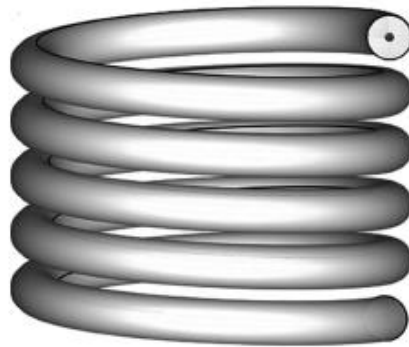
Şekil 14. Laminer ve geçişli akış rejimleri için tel matris türbülatorleri [33]

Dönmeli akış cihazları: bir kanaldaki aksenal akış üzerinde dönme yada ikinci devirdaimi üretir. Tek ve iki fazlı akışlarda kullanılmaktadırlar.



Şekil 15. Isı transfer oranını arttırmayı sağlayan bükülmüş bantlar [34]

Sarmal tüpler: Sarmal tüpler adından da anlaşılacağı üzere nispeten ısı eşanjörlerine yol açmaktadırlar. Kavisli boruların kullanılması etkili ve kullanışlı olan yöntemlerden biridir çünkü bunlar kompakt ve kolayca yerleştirilebilirler. Eğrisel tüplerde, maksimum aksel hız merkezi bir eğri borunun dış duvarına santrifüj kuvvetleri vasıtasıyla taşınır. Kavisli boruların en çok uygulanan örneklerinden biri, mekanik ve kimya mühendisliğinde birçok uygulamaya sahip olan helisel bir borudur. Kimyasal reaktörler, motorların egzoz gazı kanalları, bir roket motorunun memesindeki soğutma kanalları veya herhangi bir tür boru hattı, boru ve gaz taşıyan kanallar ve gaz türbin kanatlarının soğutulması, kavisli veya helisel sarı boruların kullanımından yararlanmaktadır. Eğri borulardaki akış, santrifüjün, basıncın ve viskoz kuvvetlerin karşılıklı etkileri ile belirlenir. Santrifüj hızlarının değerleri, aksel hızların karesiyle doğru orantılı olan santrifüj kuvvetlerine karşılık gelir. Eğrilik yarıçapı arttıkça, santrifüj kuvvetleri azalır ve basınç kuvvetleri artar. Sarmal borularda, eğriliğe ek olarak burulma da söz konusudur ve ikincil akış şekilleri saf kavisli borulardan daha da karmaşıktır [29].



Şekil 16. Helisel tüp [29]

Yüzey gerilimli cihazlar: kaynayan yüzeylere ve yoğunlaşan yüzeylere sıvı akışını yönlüten ve iyileştiren fitil veya oluklu yüzeylerden oluşur.

Sıvılar için katkı maddeleri: tek fazlı akışlarda çözülebilir katkı maddeleri katı partiküller ve gaz kabarcıklarının eklenmesi, kaynama sistemleri için genellikle sıvının yüzey gerilimini düşürür.

3.3. Nanoakışkanlar

Boyut olarak nanometre düzeylerinde uygulanan veya çalışan yeni teknolojilere ‘Nanoteknoloji’ denilmektedir. Richard P. Feynman 1959 yılında yapmış olduğu olduğu konuşmada ‘Aşağıda herkese yetecek kadar yer var!’ cümlesi ile nanoteknolojiyi vurgulamıştır. Nanoteknoloji kelimesini ilk defa 1974 yılında Tokyo Bilim Üniversitesi’nden Norio Taniguchi tarafından kullanılmıştır. Nanoteknolojinin gelişmesini sağlayan buluş ise Tarama Tünelleme Mikroskobu’ dur. Bu mikroskop sayesinde iletken bir yüzeydeki atomların yerleri değiştirilebilmiştir. Bu gelişmeyi fulleren ve karbon nanotüplerin keşfi izlemiştir [35]. Nanopartiküller, nanometre boyutunda ultra ince parçacıklardır. Nano kavramı metrenin milyarda bir uzunluğu (10^{-9} nm) olarak ifade edilmektedir. Nano düzeydeki parçacıklar 100 nm’den daha küçük parçacıklardır ve bu parçacıklar temel sıvılara eklenerek nanoakışkanları oluşturmaktadırlar. Nanoakışkan oluşturmak için kullanılan nanopartiküller genellikle alüminyum oksit (Al_2O_3), bakır (Cu), bakır oksit (CuO), altın (Au), gümüş(Ag) ve silisyum dioksit (SiO_2)’dir. Temel sıvı olarak ise su, etilen glikol, motor yağı ve etanol gibi akışkanlar kullanılmaktadır. Isı transferi cihazlarında kullanılan klasik akışkanların ısıl iletkenliğinin düşük olması, katı metalin iletkenliğinin temel akışkandan daha yüksek olması nedeniyle temel akışkanın içerisine katı partiküller eklenmektedir. Katı partiküllerin ısıl iletkenlikleri konusunda bugüne kadar çeşitli deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Isı transferi akışkanlarının içine milimetre veya mikrometre boyutlardaki katı partiküllerin katılması fikrini ilk Maxwell [36,37] önermiştir. Ancak mikrometre boyuttaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonlar daha az kararlı yapı gösterdiklerinden mikro kanalların tıkanmasına sebep olurlar. Bu nedenle bu tür akışkanlar tercih edilmemektedir. Lee ve ark. nanopartiküllerin, gaz yoğunlaştırılması, mekanik aşındırma ve kimyasal çöktürme yöntemlerinden biriyle üretilebileceğini belirtmişlerdir [38]. Bunlar içerisinde gaz yoğunlaştırma işlemi daha temiz bir ortamda üretilebildiğinden ve yüzeyleri istenmeyen maddelerle kaplanmadığından diğer yöntemlere göre daha avantajlıdır.

Günümüzde hızla ilerlemekte olan teknoloji ile birlikte enerji gereksinimlerimiz artmaktadır. Sınırlı enerji kaynaklarımızı en etkili ve verimli bir şekilde kullanmak üzere yeni fikirlere ve gelişimlere ihtiyacımız bulunmaktadır. Çoğu endüstriyel ve tüketim ürünlerinde ısı transferi önemli rol oynamakta ve ısı transferini arttırmak için modern yöntemler geliştirilmektedir. Elektronik cihazların performanslarının yükselmesi, boyutlarının küçülmesi, ısıtma ve soğutma alanlarında ısı transfer ihtiyacının karşılanması için kullanılan akışkanlarda ısı geçişlerinin yüksek olması beklenir. Otomobil, uçak ve kamyon gibi endüstriler performansları yüksek araçlar üretmeye ve yeni teknolojiler geliştirmeye devam etmekte ve bu performanslar nedeniyle ısı atabilecekleri akışkanlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde soğutma sistemlerinde kullanılan karışımlar ve motor yağları yapıları gereği yüksek ısı transfer kapasitelerine sahip değillerdir ve nanoakışkanların kullanılmasıyla daha etkili hale gelebileceklerdir. Mikroelektrik sistemlerde çalışma esnasında çok büyük değerlerde ısı ortaya çıkmaktadır. Nanoakışkanlar, mikroelektrik sistemlerde kullanılan mikro kanallarda dolaşan akışkan miktarının düşük olması ve yüksek ısı akısına sahip olması nedeniyle kullanılmaktadır. Isı değiştiricilerde nanoakışkanların kullanılması ile daha uygun sıcaklıklarda çalışabilmesi sağlanacaktır. Küçük komponentler, motorlar ve üretilebilecek ve daha az yakıtla yüksek performanslar elde edilebilecektir. Havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde de nanoakışkanların kullanılması verimliliğin artmasına ve yeni tasarımların yapılabilmesini sağlamaktadır.

3.3.1. Nanoakışkanların Hazırlanması

Nanoakışkanların hazırlanmasında nanopartiküllerin kullanılması ısı iletkenliği arttırmak için önemli bir adımdır. Nanopartiküllerin üretilmesi, fiziksel yöntemler ve kimyasal yöntemler olarak iki şekilde gerçekleşir. Fiziksel yöntemler; atıl gaz yoğunlaşması ve mekanik öğütme içerir. Kimyasal yöntemler ise kimyasal buhar çökeltme, kimyasal çöktürme, mikro emilsüyonlar, termal sprey ve sprey pirolizdir. Nanoakışkanların hazırlanmasında gösterilecek olan özenin ısı transferi performansını etkileyeceğini düşünerek, nanoakışkan kavramını basit bir katı-sıvı süspansiyon olarak görmemek gerekir. Hazırlanan akışkanlar kararlı yapı sergilemeli, uzun ömürlü olmalı ve kimyasal özellikleri değişmemelidir. Suslick ve ark. [39] demir nanopartiküllerin süspansiyonlarının oleik asit ile dengelenmesi için bir sonokimyasal yöntem geliştirilmiştir. Chopkar ve ark. [40], bilyalı öğütme kullanarak $Al_{70}Cu_{30}$ alaşımlı nanoparçacıklar üretti. Xuan ve Li [41] temel sıvı içerisine eklenen nanopartiküllerin ısı transferini iyileştirmeye neden olan fiziksel olayları aşağıdaki şekilde sıralamışlardır.

- Temel akışkan içerisine katılan nanopartiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini artırır.
- Nanopartiküller, akışkanın etkin ısı kapasitesini artırır.
- Nanopartiküller arasında ki çarpışmalar ve etkileşimler akışkanın ve akış geçidinin yüzey alanının artmasına neden olur.
- Akışkanın çalkantıları ile türbülans şiddeti artar.
- Nanopartiküllerin saçılması akışkanın enine sıcaklık gradyanının düzleşmesine sebep olur.

Hazırlanan nanoakışkanların ısı transfer katsayısı temel akışkan içerisinde olan nanopartiküllerin hacimsel oranı ile de ilişkilidir. Ayrıca, nanoparçacıkların şekline ve boyutlarına da bağlıdır. Son yıllara ait olan çalışmalara göre partiküllerin tipi, çapı, temel akışkanın laminar veya türbülanslı olması ve kanalın kesiti, ısı transfer katsayısında rol oynamaktadır.

Günümüzde nanoakışkanları üretebilmek için tek adım metodu ve iki adım metodu olarak iki yöntem bulunmaktadır [42].

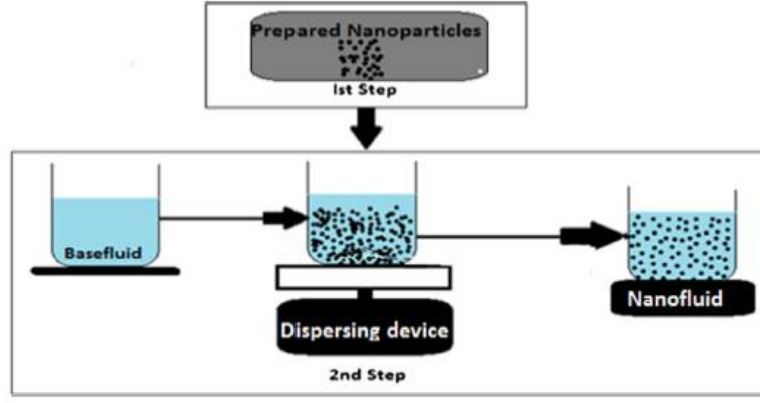
3.3.1.1. Tek Adım Metodu

Tek adım metodu (Akoh ve ark.) temel sıvı içerisinde nanopartiküllerin dağıtılması ile hazırlanan bir işlemdir [43]. Tek adımlı metot yönteminde nanopartiküller fiziksel buhar çöktürme tekniği (PVD) ile veya sıvı kimyasal yöntemi ile direkt hazırlandığı için nanoakışkanların sentezi ile nanopartiküllerin hazırlanmasını birleştiren bir prosestir. Tek adımda, bu nanopartiküller, nanofiberlerden veya nanotüpler gibi nano malzemeler kuru toz formunda üretilmektedir [44]. Bu yöntemin dezavantajı sadece düşük buhar basınçlı akışkanlar ile uyumludur ve nanoakışkanların içinde hazırlandığından sadece küçük miktarlarda yığın halinde üretilmesidir. Diğer bir dezavantajı ise nano süspansiyonda, nanolakışanların saflık ve özelliklerini etkileyen tamamlanmamış reaksiyondan dolayı reaktanın bir kısmının mevcut olmasıdır. Avantajı ise nanoparçacıkların saf ve daha düzgün boyutlara sahip olmasıdır.

Zhu ve ark. [45], mikrodalga ışınlama altında etilen glikol içinde sodyum hipofosfit ($\text{NaH}_2\text{PO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ile bakır sülfat pentahidrat'ı ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) indirgenerek kararlı Cu-etilen glikol nanofüzyonu üretmek için tek adımlı kimyasal yöntem geliştirdi. Eastman ve ark. [46] tarafından geliştirilen tek adımlı fiziksel metod ile Cu nanoakışkanların termal iletkenliğinin artırılması ele alınmıştır.

3.3.1.2. İki Adım Metodu

İki adım metodunda önceden hazırlanmış olan nano partiküller temel akışkan içerisine uygun yöntemlerle karıştırılarak süspansiyon oluşturulur. Yoğun partiküllerin dağılmasını ve parçacıkların topaklaşmasını önlemek için ultrasonik ekipmanlar kullanılır. İki adımlı metodun en büyük avantajı, nanoparçacıkların büyük ve ucuz üretimlerini sağlayan endüstriyel bir yöntemle ayrı ayrı üretilmesidir. Tek adım metodu ile karşılaştırıldığında iki adım metodu (Wang ve Mujumdar) metalik partiküller için daha az uygun olmasına karşın oksit nanopartiküller için iyi sonuç vermektedir [47]. İki adımlı yöntem de oksit nanoparçacıkları için iyi çalışsa da, bakır gibi metal nanopartiküllerde olduğu kadar etkili değildir. Nanoakışan hazırlama yöntemlerinin her ikisinde de nanopartiküllerin stabilizasyonu yüzey aktif maddelerinin kullanımına bağlıdır. Genellikle kullanılan yüzey aktif maddeler 60°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda önemli derecede bozunurlar (Ghadimi ve ark.) ve bu olay ısı transfer ortamında nanoakışkanların kullanımına ciddi bir sınırlama getirmektedir [48].

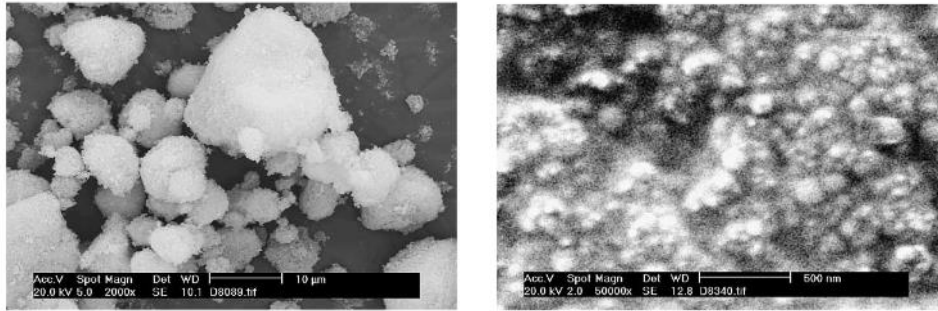


Şekil 17. Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan iki adımlı method [44]

Genel olarak homojen bir nanoakışkan süspansiyonu hazırlamak için üç yöntem kullanılmaktadır [41].

- Süspansiyonun pH değerini değiştirmek.
- Yüzeysel aktivatörleri ve /veya seyrelticiler kullanmak.
- Ultrasonik titreşimler kullanmak

Bu yöntem ile elde edilen nanoakışkanlar, mikrokanallar yada diğer uygulamalarda topaklanma, basınç düşüşü ve akışı engellemede oldukça avantajlıdır. Süspansiyona uygun yüzey aktivatörleri veya seyreltici kullanmak nanoakışkanlarda topaklanmayı önlemektedir. Aşağıdaki şekilde temel akışkan içerisinde Al_2O_3 partikül bulunan nanoakışkan dört saat boyunca ultrasonik titreşim kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil (a) temel sıvı içerisinde topaklanmış b'de homojen dağılmış Al_2O_3 TEM resimleri verilmektedir.



Şekil 18. Toplanmış ve dağıtılmış Al_2O_3 nanopartikül resimleri [49]

Eastmen ve ark. [46] düşük basınç altında etilen glikolün akışında bakır buhar yoğunlaşması kullanarak bakır nanoakışkanları ürettiler.

Chang ve ark. [50] nanomateryalin buharlaştırılmasını bir elektrodun arkıyla kıvılcımlandırarak gerçekleştirdiler ve vakum haznesinde metal ve metal nanoakışkanlar üretmek için üretilen buharı yoğunlaştırdılar.

Zhou ve ark. [51] nanoparçacıkların üretimi için kimyasal araçlar kullandı: inorganik bakır tuzlarını sodyum hipofosfite indirgeyerek metalik bakır

nanoakışkanların oluştuğunu bildirdiler. Birkaç temel sıvıda bu reaksiyonu kullanarak 10 nm'den daha az yarıçaplı yaklaşık olarak tek dağılımlı Cu parçacıklarını oluşturdular. Topaklanmayı önlemek için, temel akışkan içerisinde az miktarda polivinilpirolidon kullandılar.

Tavares ve Coulombe [52] az miktarda nanopartikül için yüzey aktivatör madde içermeyen bir hazırlama yöntemi geliştirdiler; nanopartikülleri bir çift plazma kaynağı ile oluşturarak stabilize ettiler.

Tablo 2. Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan temel sıvılar ve nanopartiküller [44]

Nanopartiküller	Temel Sıvılar
Au	Su, Etilen Glikol, Toluen R141b (1,1-Dicloro-1-Floroetan)
Ag	Su, Toluen
Cu	Su, Yağ, Etilen Glikol, Aseton
CuO	Su, Etilen glikol, R134a (1,1,1,2-Tetrafloroetan)
ZnO	Su
Fe ₃ O ₄	Su
Al ₂ O ₃	Su, Etilen Glikol, Pompa Yağı, Su+ Gliserin
TiO ₂	Su, R141b (1,1-Dikloro-1-Floroetan)
SiO ₂	Su, Etilen Glikol
Al _x Cu _y	Su, Etilen Glikol
Ag _x Cu _y	Yağ, Etilen Glikol
Graphite	Yağ
Diamond	Etilen Glikol, Mineral yağ

3.3.2. Nanoakışkanlarda Isı Transferini Etkileyen Faktörler

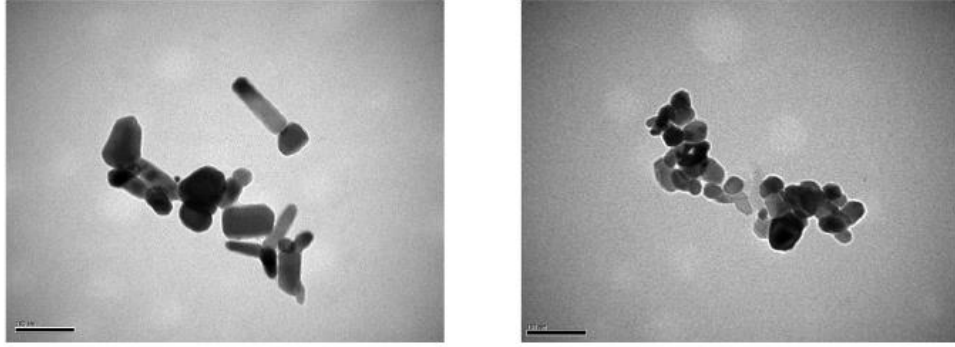
Nanoakışkanların ısı transferini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar nanopartikülün şekil etkisi, partikül hacim konsantrasyon etkisi, boyut etkisi, ısıl iletkenlik ve temel sıvıdır.

3.3.2.1. Nanopartiküllerin Şekil Etkisi

Nanoakışkanlarda ısıl iletkenliği arttıran bir başka önemli yöntem ise şekil etkisidir. Yeni yayınlanan çalışmalarda nanoparçacık şeklinin nanoakışkanların ısı transferini arttırmada etkisinin fazla olduğu görülmektedir. Nanopartiküllerde yaygın kullanılan şekiller (küresel, silindirik, brick, blade ve polygonal) olmaktadır. Bu tezde ise çalışmalar küresel, silindirik, brick ve blade şekile sahip nanopartiküller kullanılarak çözümler yapılmıştır.

Xie ve ark. [53] SiC nanoakışkanların iletkenliğinin geliştirilmesinde nanopartiküllerin şeklinin (küresel ve silindirik) olarak ısıl etkilerini bildirmişlerdir. Murshed ve ark. [54], küresel ve çubuk şeklinde TiO₂ nanopartikülleri ile deneyler gerçekleştirdi. Chopkar ve ark. [55] etilen glikol içerisinde 25 nm zirkonya

parçacıklarını ekleyerek sadece 1.5 hacim fraksiyonuyla yaklaşık % 100 bir termal iletkenlik artışı bildirmişlerdir. Partikül şeklinin ve boyutunun termal iletkenlik üzerinde etkisini bildirmişlerdi. Jeong ve ark. [56] ZnO nanopartikül şekillerini (küresel ve dikdörtgen şekline yakın), termal iletkenlik ve nanoakışkanların dinamik viskozitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Nanoakışkanların viskozitesi hacim konsantrasyonundaki artış ile birlikte %69'a kadar artmıştır.



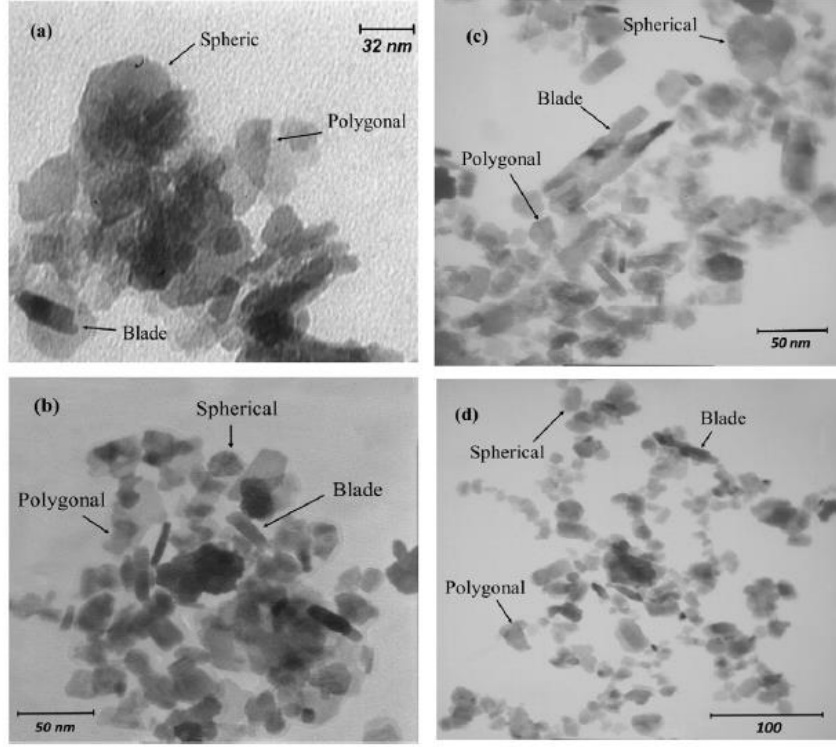
(a)

(b)

Şekil 19. TEM gösterimleri (a) dikdörtgen şekline yakın ZnO nanopartikülü (b) küresel şekilde ZnO nanopartikülü [56]

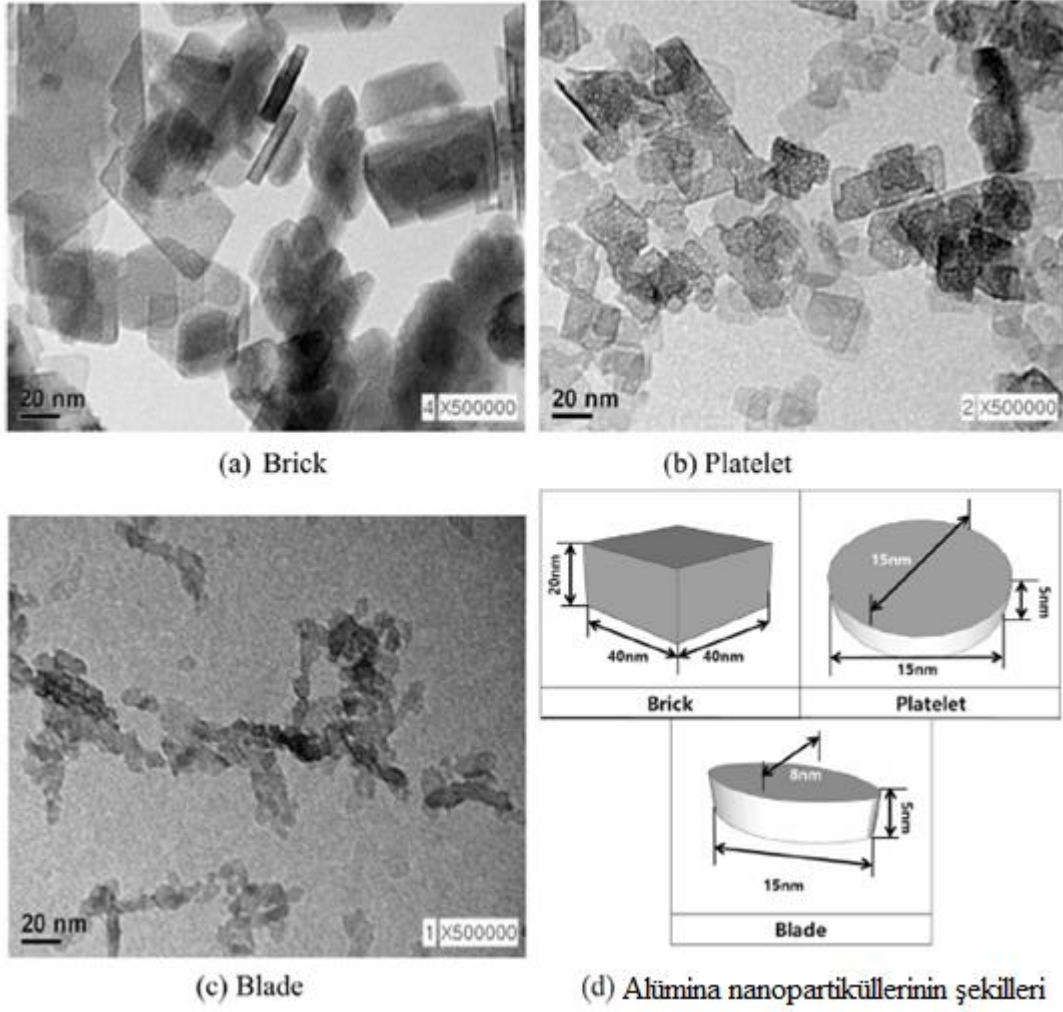
Duangthongsuk ve Wongwises, TiO_2 'nin 21 nm küresel nanopartikülleriyle sentezlenen su bazlı nanoakışkanların ısı iletkenliğini ve dinamik viskozitesini ölçen bir çalışma yapmışlardır [57]. Mahian ve ark. [58] su-etilen gliserol karışımına bohemit alümina nanopartiküllerinin kullanıldığı süspansiyon ile çalışan mini kanal bazlı düz plaka solar kollektör çalışmasında silindirik, blade, bricks ve plates nanopartikül şeklini kullanmışlardır. Türbülanslı akışta farklı nanopartikül ve hacim konsantrasyonlarında Nusselt sayısı, ısı transfer katsayısı, çıkış sıcaklığı ve entropi sonuçlarında %4'e kadar artış sağlandığını gözlemlemişlerdir. Yang ve ark. [59] eşyönlülük analizi ile silindirik şekildeki partiküllerden oluşan nanoakışkanların termal iletkenliğini teorik olarak incelemişlerdi. Zaraki ve ark. [60] suda ZnO partikülü küresel ve dikdörtgen şekillerde karşılaştırma yaparak analiz etmiş, küresel nanopartiküllerin ısı transferini düzgün bir şekilde arttırdığını bulmuşlardır.

Karimi Nazarabad ve ark. [61] tarafından WO_3 -Gliserol nanoakışkanların taşıma özelliklerinin bazılarının partikül şeklinin etkisini incelemişler, ısı iletkenliğinde maksimum ve minimum gelişmeler, tüm sıcaklıklar için sırasıyla küresel ve çokgen şekilli NP'lerin en büyük ve en düşük değerlerini içeren numuneler için gözlemlemişlerdir. Hidrotermal yöntemle hazırlanan 0.5'lik bir kütle fraksiyonuna sahip NP'ler eklendiğinde, 40 °C'de gliserolün ısı iletkenliğinde maksimum % 6.7 artış gözlemlemişlerdir. Küresel Np formulu nanoakışkanları termal iletkenlikte çokgen şeklindeki nanopartikül ile kıyaslandığında en fazla artışı göstermişlerdir.



Şekil 20. TEM resimleri a) HT b) HN c) MW ve d) MN [61]

Kim ve ark. [62] su bazlı bohemit Al_2O_3 nanoakışkanlarının parçacık şeklinin süspansiyon stabilitesine ve termal iletkenliğine etkisini incelemişlerdir. Partikül şekli olarak brick, plate ve blade şekillerini kullanmışlar ve süspansiyon kararlılığını ve termal iletkenliği % 0,3 ile % 7,0 hacmine kadar araştırmışlardır. Brick, plate ve blade şeklindeki nanoakışkanların %7 hacimde termal iletkenliği sırasıyla maksimum %28, %23 ve %16 'ya kadar artmıştır. Brick şeklindeki nanopartikülleri içeren nanoakışkanlarda süspansiyon stabilitesi ve ısıl iletkenlik en yüksek performansta, blade şeklindeki partiküller ile oluşan nanoakışkanlar ise en düşük ısıl iletkenliğe sahip olarak bulmuşlardır.



Şekil 21. Bohemit Al_2O_3 nanoakışkanın şekilleri ve TEM resimleri [62]

3.3.2.2. Nanopartiküllerin Boyut Etkisi

Nanopartiküllerin boyutu nanoakışkanlar için kritik bir önem taşımaktadır. Bir nanopartikülün boyutu $1 \mu m$ 'den küçük olan bir parçacıktır, ancak çoğu araştırmacı nanoakışkanları boyut olarak 100 nm 'den daha küçük parçacıkların akışkan süspansiyonları olarak tanımlamaktadır.

Chon ve ark. [63] nanoakışkanların ısı iletkenliğine etkisini nanopartiküllerin boyutuna ve sıcaklığına bağlılığını ölçmüşlerdir. Chopkar ve ark. [40] parçacık boyutunun $Al_{70}Cu_{30}$ nanopartikülleri içeren etilen glikol esaslı nanoakışkanların termal iletkenliği üzerindeki etkisini inceledi ve kuvvetle boyuta bağlı bir termal iletkenlik gösterdiler. Xuan ve Li [41] parçacık boyutu 100 nm olan bakır-su nanoakışkanını incelemiş ve ısı transfer oranının %40 oranında arttığını bildirmişlerdir. Zaraki ve ark. [60] nanoakışkanların doğal taşınım ile ısı transferinin artırılması üzerine nanoparçacıkların etkisini tartışmışlardır. Nanopartiküllerin boyutunun azalmasının ısı transferini önemli ölçüde arttırdığını bulmuşlardır.

3.3.2.3. Partiküllerin Hacimsel Konsantrasyon Miktarı

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini arttıran diğ er bir faktör ise hacim oranıdır ve ϕ ile gösterilmektedir. Nanopartiküllerin hacimsel kesri arttıkça ısı iletkenliği artmaktadır.

Roy ve ark. [64] tarafından bir elektronik komponent soğ utma sistemi Su- Al_2O_3 bazlı nanoakış kan kullanılarak sayısal olarak incelenmiş, %5 hacim oranı için ısı transfer katsayısını yaklaşık olarak %25 arttığını bulmuş lardır. Nguyen ve ark. [65] su bloğ u sistemi kullanarak Su- Al_2O_3 nanoakış kanında 36 ile 47 nm boyutlarında nanopartikül kullanarak % 6.8 hacim oranında, temel sıvıya göre ısı transfer katsayısının %40 arttığını bulmuş lardır.

3.3.2.4. Brownian Hareketi

Nanopartiküller temel sıvının molekülleri yüzünden Brownian hareketi vasıtası ile birbirleriyle çarpış ırlar ve hareket ederler [66]. Katı katı ısı transfer modunda iki partikül çarpış tığında nanoakış kanların termal iletkenliği artabilir. Brownian hareketi ilk olarak 1837'de Robert Brown tarafından mikroskopta gözlemlendi ve 20. yüzyılın başlarında Albert Einstein (1905) tarafından matematiksel olarak tarif edilmiştir. Bu çalış ma 1921 fizik Nobel ödülünde Einstein'ın en büyük başarısı olarak gösterilmiştir [67].

$$T = \frac{\overline{mC^2}}{3k_B} \quad (3.1)$$

Burada m bir molekülün kütesidir, C moleküllerin hızının büyüklüğüdür ve k_B Boltzmann sabitidir $k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K [54]. Brown hareketinin etkisi, Stokes-Einstein formülü tarafından verilen difüzyon sabiti D 'ye sahip olan diffüz bir süreçtir [66]:

$$D = \frac{k_B T}{3\pi\eta d} \quad (3.2)$$

Burada T sıcaklığı, η akış kanın vizkozitesini, d partikül çapını ve k_B Boltzmann sabitini vermektedir. Yüksek sıcaklıktaki sıvı moleküllerin yüksek hızları vardır. Bu nedenle Brownian hareketi yüksek sıcaklıklarda daha etkilidir. Brownian hareketi nanoakış kanlardaki parçacıkların hareketinde çok önemli bir rol oynamaktadır ve birçok yazara göre nanoakış kanların taşıma özelliklerini önemli derecede etkilemektedir [66]. Keblinski ve ark. [67] nanopartikülün sıvıdaki ısı difüzyonunun zaman birimini bir nanoakış kanın Browni hareketini ısı iletkenliği üzerindeki etkisini karşılaştırarak tahmin etmiştir.

$$\tau_D = \frac{d^2}{6D} \quad (3.3)$$

Burada D difüzyon sabiti olarak tanımlanır. Benzer şekilde, ısının aynı mesafede sıvı içinde hareket etmesi için zaman birimi;

$$\tau_H = \frac{d^2}{6X} \quad (3.4)$$

Burada X termometrik iletkenlik, $k/\rho c_p$ akışkanın birim hacim başına ısıl kapasitesi ile termal iletkenliğinin oranı olarak tanımlanır yada $X = k/\rho c_p$ [67].

3.3.2.5. Termal İletkenlik (k_{eff})

Isı transferi akışkanlarının geliştirilmesinde ısıl iletkenlik çok önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü klasik ısı transferi akışkanlarının (yağ, etilen glikol, su) ısıl iletkenliği düşüktür ve önceki bölümlerde anlatıldığı gibi temel akışkanın içine ısıl iletkenliği yüksek katı partiküllerin eklenmesiyle ısı transferi arttırılmaktadır. Günümüzde ısıl iletkenliğin arttırılmasına yönelik birçok çalışma yapılmakta ve uygulanmaktadır. Ayrıca artan enerji ihtiyacı, gelişen teknolojiler ve uygulamalar için ısı transferini arttırmaya ihtiyacımız bulunmakta ve ısıl iletkenlik çok önemli bir faktör olmaktadır. Termal iletkenlik bir yüzey boyunca enerji akışı ile yerel sıcaklık gradyeninin oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$k = -\frac{q}{dT/dx} \quad (3.5)$$

Oda sıcaklığında, katı haldeki metallerin sıvılarınkinden daha yüksek ısıl iletkenlik derecelerine sahip olduklarını belirtmişlerdir. Touloukian ve ark. [68] bakırın oda sıcaklığında termal iletkenliği, Tablo 3'de gösterildiği gibi, suyun 700 katından ve motor yağının yaklaşık 3000 katından daha fazladır. Metalik sıvıların ısıl iletkenliği, metalik olmayan sıvılardan daha fazladır.

Tablo 3. Çeşitli malzemelerin termal iletkenliği [68]

	Malzeme	Termal İletkenlik (W/mK)
Metalik katılar	Gümüş	429
	Bakır	401
	Alüminyum	237
Metalik olmayan katılar	Elmas	3300
	Karbon nanotüpleri	3000
	Silikon	148
	Alümina (Al_2O_3)	40
Metalik sıvılar	Sodyum 644K	72,3
Metalik olmayan sıvılar	Su	0,613
	Etilen glikol	0,253
	Motor yağı	0,145

Maxwell 1873 yılında katı partikül içeren süspansiyonların termal iletkenliği ile ilgili deneysel ve teorik çalışmalar yapmıştır. Ancak çalışmalar milimetre ve mikrometre büyüklüğündeki partiküller ile sınırlı kalmıştır. Mikrometre ve milimetre boyutundaki partiküller süspansiyon içinde tıkanma ve iletkenliğin düşük olmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle mikro cihazların kanallarını tıkama durumu olduğundan tercih edilmezler [68].

İlerleyen teknoloji ile birlikte 100 nm altındaki kristal boyutlara sahip nanopartiküllerin üretimi sağlanmıştır. Choi 1995 yılında 10 faktör arttırmak yerine ultra yüksek iletkenliğe sahip nanoakışkanları kullanarak konveksiyon ısı transferinin ikiye katlama imkânı sunmuştur. Küresel katı partiküllerden oluşan karışımların ısı iletkenlik katsayılarını veren ilk ifade Maxwell tarafından geliştirilmiştir [68].

$$k_{eff} = \frac{k_p + 2k_f - 2\varphi(k_f - k_p)}{k_p + 2k_f + \varphi(k_f - k_p)} k_f \quad (3.6)$$

Yukarıda gösterilmiş olan k_{eff} süspansiyonun iletkenlik katsayısını, k_p katı partikülün, k_f temel akışkanın ısı iletkenlik katsayısını ve φ katı partiküllerin hacimsel oranını belirtmektedir. Hamilton ve Crosser düzensiz şekillerdeki parçacıkları kapsayan daha genel bir çalışmada [69].

$$k_{eff} = \frac{k_p + (n-1)k_f - (n-1)\varphi(k_f - k_p)}{k_p + (n-1)k_f + \varphi(k_f - k_p)} k_f \quad (3.7)$$

Burada n empirik şekil faktörüdür ve aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.

$$n = \frac{3}{\psi} \quad (3.8)$$

Denklemdaki ψ küresellik katsayısını ifade etmektedir ve $\psi=1$ iken denklem Maxwell denklemine dönüşmektedir. Su ve etilen glikol içerisindeki Ag_2Al nanopartikülleri termal iletkenliğinin % 100 artmasına neden olmuştur [55].

Birkaç deneysel çalışmada nanoakışkanların ısı iletkenliğini arttıran en önemli parametreler olarak nanopartiküllerin özellikleri geometrisi ve tipi, temel sıvının türü ve nanopartiküllerin hacimsel oranının sonucuna varılmıştır [70, 47].

3.3.2.6. Temel Sıvı

Nanoakışkanlara parçacıkların eklenmesinin amacı, temel sıvısının iletkenliğini arttırmaktır. Bu nedenle, nanoakışkanların yüksek performansı için temel sıvının ısı iletkenliği yüksektir. Nanoakışkanların hazırlanmasında genellikle su, etilen glikol ve motor yağı kullanılmaktadır.

Zaraki ve ark. [60] nanoakışkanlarda kullanılan temel sıvı türünün ısı transferini arttırdığını örneğin; 40 nm küresel alümina nanopartiküllerini gazyağı

içinde dağıtırken doğal taşınım ile ısı transferi artmıştır, aynı nanoparçacıkların suya dağıtılması doğal taşınım ile ısı transferini bozmuştur.

Xie ve ark. [71] termal iletkenliği arttırmak için alümina parçacıklarını içeren süpansiyonu incelemişler, temel sıvının etkisini belirlemek için su, etilen glikol ve pompa yağı kullanmışlardır. Pompa yağı içeren nanoakışkanın %38'lik bir oranla artış sağlandığını göstermişlerdir.

Lee ve ark. [72] Al_2O_3 ve CuO nanopartikülleri su ve etilen glikol bazlı sıvılar içeren nanoakışkanları inceleyerek temel sıvı olarak etilen glikol içeren nanoakışkanlarda sonuçların daha yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

3.4. Nanoakışkanlarla Isı Transferinin İyileştirilmesi

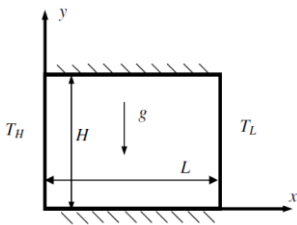
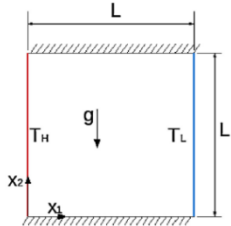
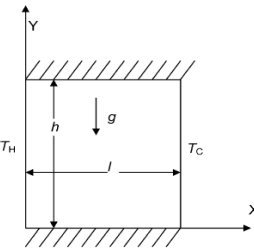
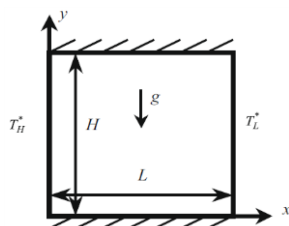
Michaelides [67] doğal taşınım sürecinde temel sıvıya nanopartiküllerin eklenmesinin aşağıdaki etkilere neden olacağını belirtmiştir.

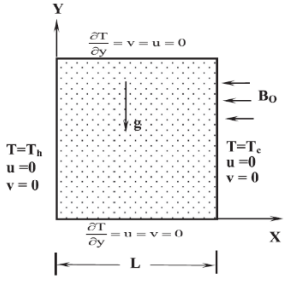
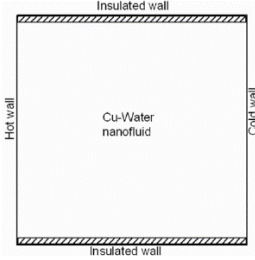
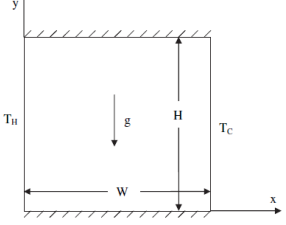
- Akışkan viskozitesinin artması (engelleyici etki)
- Partiküllerin yüzeyindeki kararsızlığın sönümlenmesi (engelleyici etki)
- Isıtma yüzeyi ile etkileşimler: Parçacıkların ve etkileşimlerin yapısına bağlı olarak, bu durum bir yükseltici veya engelleyici edici etkiye sahip olabilir.
- Akışkan iletkenliğinin artırılması (teşvik edici)

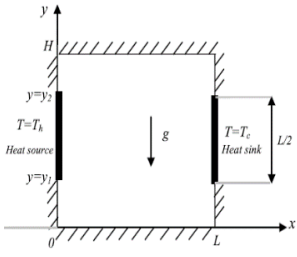
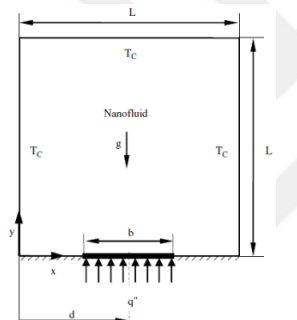
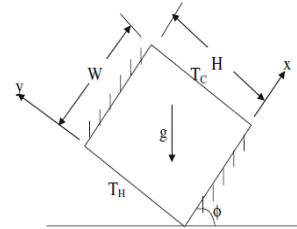
Wen ve Ding [73] su içeren TiO_2 'i kullanarak %5-25 aralığında nanopartiküllerin eklenmesiyle ısı transfer katsayısının azaldığını gözlemlemişlerdir. Okada ve Suzuki [74] μm boyutlarında ince partiküller ile yaptıkları bir çalışmada, parçacıkların ilave edilmesiyle doğal konveksiyonda Nusselt sayısının önemli ölçüde arttığını gözlemlediler. Wen ve Ding [75] su içeren TiO_2 nanoakışkanını silindirik bir muhafaza içerisinde kullandılar ve ısı transfer katsayısının maksimum %30'a kadar azaldığını gözlemlemişlerdir. Khanafer ve ark. [76] iki boyutlu bir muhafaza içerisinde nanoakışkanların ısı transferindeki değişimini doğal taşınım ile incelemişlerdir. Herhangi verilen bir Grashof sayısında ısı transfer oranının arttığını göstermişlerdir. Ayrıca nanopartikül hacim fraksiyonunun artması ile ısı transfer oranının arttığını gözlemlemişlerdir. Bu varyasyonlara bağlı olarak da Nusselt sayısının ısı transfer üzerindeki değişimlerini sunmuşlardır. Öztop ve Abu-Nada [77] nanoakışkanları ısıtılmış dikdörtgen bir muhafaza içerisinde doğal taşınım ile incelemişlerdir. Cu nanopartiküllerinin kullanılmasıyla ısı transferinin en yüksek değerde olduğunu ve hacim kesri değerinin artması ile ısı transferinin arttığını bulmuşlardır. Jou ve Tzeng [78] dikdörtgen bir muhafaza içerisinde doğal taşınım ile ısı transferin artırılmasını numerik incelemişler ve Nusselt sayısının arttığı sonucuna varmışlardır.

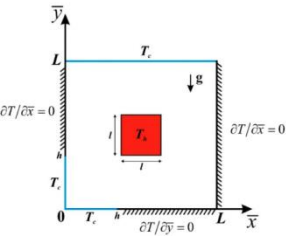
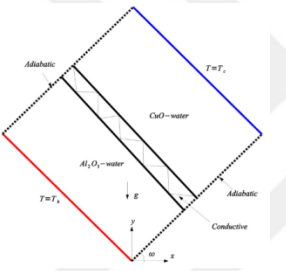
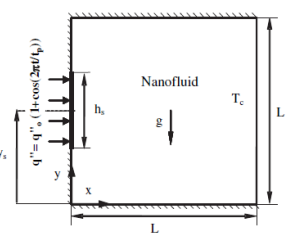
Kavitede doğal taşınım ile nanoakışkan kullanımına ait çeşitli çalışmalar Tablo 4'te özet şeklinde sunulmuştur. Bu çalışmalarda doğal taşınım ve nanoakışkanların birlikte kullanılması ile ısı transferine etkisi incelenmiştir.

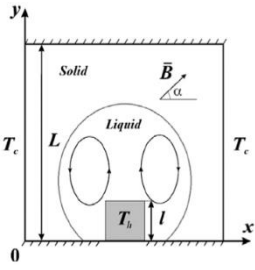
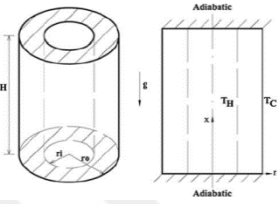
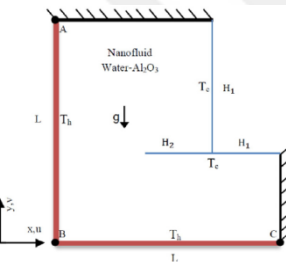
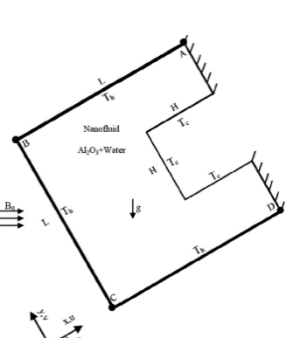
Tablo 4. Çeşitli geometrilerde kavitede nanoakışkanlar ısı transferinin iyileştirilmesiyle ilgili çalışmalar

Geometri	Yazar	Partikül	Aralık	Yöntem	Sonuç
	Khanefer K. Vafai K. Lightston e M. [4]	Cu	$10^3 \leq Gr \leq 10^5$ $0 \leq \phi \leq 0.25$	SHY	Nanopartiküllerin artan hacim kesri ile nanoakışkanların ısı transfer hızı artar. Nu ~ %25 artmıştır.
	Fontes H.D. Santos D.D. Padilla E.L.M Filho E.P.B [5]	Cu	$10^3 \leq Ra \leq 10^5$ $0.1 \leq \phi \leq 1$	SEM	Rayleigh sayısının artması ile ısı transferi artmıştır. G. De Vahl Davis, I.P.Jones makalesine göre Ra=10 ³ Nu sayısı aynıdır Ra=10 ⁴ Nu= 0.005 artış Ra=10 ⁵ Nu= 0.025 artış Ra=10 ⁶ Nu= 0.084 artış göstermiştir
 <p>Fig. 1. Geometry of the problem.</p>	Santra A.K Sen S. Chakraborty N. [79]	Cu	$10^4 \leq Ra \leq 10^7$ $0.05 \leq \phi \leq 5$ d =100 nm Pr= 7.02	SHY	Herhangi bir Rayleigh sayısı için katı hacim fraksiyonundaki artış, ısı transferinde belirgin bir düşüş olduğunu göstermektedir. $\Phi = \% 5.0$ için ortalama Nu sayısı Ra= 104 iken berrak sıvıya göre yaklaşık %32,8 ve Ra=107 iken yaklaşık %38,3 azalmıştır.
	Violi A. Lin K. C [80]	Al ₂ O ₃	$10^3 \leq Gr \leq 106$ $5 \leq d_{Al_2O_3} \leq 250nm$ $0 \leq \phi \leq 5$	WFM	Isı transferinin artması ve azalması ısı iletimi boyunca brownian hareketinin baskın etkisi ile ifade edilir.

	<p>Teamah M.A. El-Maghlany W.M. [6]</p>	<p>Al_2O_3 Cu TiO_2</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^7$ $0 \leq Ha \leq 60$ $0 \leq \phi \leq 0.06$ $-10 \leq q \leq 10$</p>	<p>LBM</p>	<p>Rayleigh sayısı arttıkça konveksiyon artar. Sabit hacim kesrinde $q=1$ iken Ha sayısı artar, Nu sayısı azalır. Genel olarak manyetik alan Nu sayısını azaltır. Tüm partiküllerde hacim kesri arttıkça Nu sayısı yaklaşık %15 artmıştır.</p>
	<p>Boualit A. Zareibi N. Chergui T. Lebbi M. Boutina L. Laouar S. [81]</p>	<p>Cu</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^6$ $10nm \leq dp \leq 100nm$ $0 \leq \phi \leq 0.2$</p>	<p>SEM</p>	<p>Ra değerlerinin aralığında değişen hacim kesri ile Nu sayısı artmıştır. Ra 10^3 ve 10^4 değerlerinde nanopartikül çapı Numean değerine duyarlıdır. 10^5 ve 10^6 değerinde parçacık çapının artması ile artmıştır.</p>
	<p>Chamkha A.J Abu-Nada E. [7]</p>	<p>Al_2O_3 CuO</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^5$ $10nm \leq dp \leq 100nm$ $0 \leq \phi \leq 9$</p>	<p>SHM</p>	<p>Yüksek Rayleigh sayıları için ortalama Nusselt sayısı, Brinkman model kombinasyonu kullanıldığında nanopartikül hacim oranının artan değerleri ile artarken, Namburu ve diğerlerinin model kombinasyonu kullanıldığında nanopartikül hacim oranı arttıkça azaldığını tahmin etmişlerdir. Yüksek en-boy oranlarına sahip muhafazalar için ortalama Nusselt sayısının, düşük en-boy oranlarına sahip muhafazalara kıyasla daha fazla bozulma yaşanacağını öngörmüşlerdir.</p>

	<p>Abdollahi R. Kheirkhah M.H Arefmansh A. Sheikhzadeh G.A. [82]</p>	<p>Al₂O₃ Cu</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^6$ $0 \leq \phi \leq 8\%$</p>	<p>SHM</p>	<p>Tüm Rayleigh sayıları için yan duvarların aktif bölümlerinin üst ve alt durumunda minimum ortalama Nusselt sayısı oluşur ama Ra=105 ve 106 için orta- alt durumunda ve Ra=103 ve 104 için orta-orta durumunda maksimum ortalama Nusselt sayısı oluşmuştur. Nanopartiküllerin hacim kesri arttıkça ısı transferi artmaktadır.</p>
	<p>Ghasemi B. Aminossadati [8]</p>	<p>Al₂O₃ Cu TiO₂ Ag</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^6$ $0 \leq \phi \leq 20\%$</p>	<p>SHY</p>	<p>Rayleigh sayılarının artması, doğal taşınım akışlarını güçlendirerek ısı kaynağı sıcaklığının azalmasına neden olur. Cu ve Ag nano parçacıkları, en düşük soğutma performansına sahiptir böylece düşük Rayleigh sayılarında, bu nano-parçacıkların %20'sinin saf suya eklenmesi, ısı kaynağının maksimum sıcaklığını % 42.8'inde azaldı.</p>
	<p>Öztop H.F. Abu-Nada E. [9]</p>	<p>Cu Su</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^6$ $w 0^0 \leq 120^0$</p>	<p>SHM</p>	<p>Isı transferi, Rayleigh sayısının doğrusal olarak artmasıyla gelişir ancak nanoparçacık konsantrasyonunun Nu sayısı üzerindeki etkisi; düşük Rayleigh sayısı yüksek Rayleigh sayısından daha belirgindir.</p>

	<p>Sheremet M.A Öztop H:F Pop L. Abu- Hamdeh N. [10]</p>	<p>Cu Su</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^6$ $0 \leq \phi \leq 0.05$ $0.2 \leq l/L \leq 0.6$ $0.25 \leq h/L \leq 0.75$</p>	<p>SHM</p>	<p>Nanopartikül hacim fraksiyonundaki bir artış, konvektif akışın zayıflamasına ve boşluğun alt kısmının daha az soğumasına neden olur. İç sıcak kare bloğun ort. Nu sayısındaki artışlar; $Ra=10^3$ Nu ~ %1.7 artma $Ra=10^4$ Nu ~ 1.18 azalma $Ra=10^5$ Nu ~ 2.95 azalma $Ra=10^6$ Nu ~ 1.65 artma</p>
	<p>Selimefen diğil F. Öztop H.F. [83]</p>	<p>Al_2O_3 Su CuO Su</p>	<p>$10^3 \leq Gr \leq 10^6$ $0^0 \leq w \leq 275$ $0 \leq \phi \leq 0.04$ $0.01 \leq k \leq 10$</p>	<p>SEM</p>	<p>Ortalama ısı transferi, Grashof sayısı ve katı parçacık hacmi kesri ile artar. Sağ bölme üzerinde düşük termal iletkenliğe sahip nanopartiküllerin eklenmesi, yüksek termal iletkenliğe sahip nanopartiküllerin eklenmesiyle karşılaştırıldığında ısı transferi arttırımı için etkili olduğu gözlemlenmiştir.</p>
	<p>Ghasemi B. Aminossadi S.M [84]</p>	<p>Al_2O_3 Cu TiO_2</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^6$ $0 \leq \phi \leq 0.04$</p>	<p>SHM</p>	<p>Saf suya nanoparçacık ilavesi, ısı iletkenliğini geliştirir ve ısı kaynağından ısı uzaklaştırır. %20 Cu nanopartikülü eklenmesi ısı kaynağından maksimum %37 ısı azaltmıştır. En iyi soğutma performansı için ısı kaynağı düşük Ra sayılarında sol duvarın ortasına yüksek Ra sayıları için sol duvarın altına yerleştirilmelidir.</p>

	<p>Bondarev a N. S. Sheremet M.A [85]</p>	<p>-</p>	<p>Ha= 0,50,100 $\alpha = 0$ $\alpha = \pi/4$ $\alpha = \pi/2$</p>	<p>SFM</p>	<p>α nın artması Nu sayısını arttırmıştır. Ha sayısının artması Nu sayısını azaltmıştır.</p>
	<p>Abouali O. Falahatpisheh A. [86]</p>	<p>Al₂O₃</p>	<p>$10^3 \leq Gr \leq 10^5$ $0 \leq \phi \leq 6\%$ SFM</p>	<p>SHM</p>	<p>Jang ve Choi doğal konveksiyon ile ısı transferinin bozulmasını göstermekte ve termal iletkenliği deneyle iyi kabul edildiğini göstermişlerdir.</p>
	<p>Armahani T. Kasaeipour A. Alavi N. Rashidi M.M [87]</p>	<p>Al₂O₃ Su</p>	<p>$10^3 \leq Ra \leq 10^6$ $\phi = 0.04$ AR=0.1,0.3,0.5, 0.7 $0 \leq Bf \leq 0.3$</p>	<p>SFM</p>	<p>Ra sayısının artması ile ısı transferi artmıştır. Sıcak duvarda yukarıya doğru ısı transferi azalır. AR'nin artması ile ısı transferi artar. En iyi $\Phi = 0.04$ termal performans AR = 0.7 ve Bf = 0.2'de gözlemlenmiştir.</p>
	<p>Kasaeipour A. Makulati N.. Rashidi M.M [88]</p>	<p>Al₂O₃ Su</p>	<p>$0^0 \leq w \leq 90^0$ $0 \leq \phi \leq 0.06$ $10^3 \leq Ra \leq 10^6$ $0 \leq Ha \leq 0.06$ $0.2 \leq AR \leq 0.8$</p>	<p>SHM</p>	<p>Ra= 10⁵'de Ha≤ 60 nanoakışkanın eklenmesiyle Nu sayısı azalmıştır. Ha>60'da nanoakışkanın etkisi ihmal edilebilir. Kavite boy oranı artırılarak nanoakışkanın akışına bağlı olarak eğim açısının ısı transferine etkisi azalmıştır. Nanoakışkanların ortalama Nu sayısı üzerindeki artış kavite boy oranını arttırarak etkilemiştir.</p>

4. YÖNTEM

Sonlu elemanlar metodu kapsamlı mühendislik problemlerinin hassas olarak çözülmesini sağlayan sayısal bir yöntemdir. Başlangıçta uçak gövdesi yapılarındaki stresleri incelemek için geliştirilmiş ve devamında geniş bir alana uygulanmıştır. Uygulama alanları otomotiv, uçak bina ve köprü yapılarında deformasyon ve stres analizleri, ısı akışı, sıvı akışı, manyetik akış diğer akış problemleri için alan analizlerini kapsar. Bilgisayar teknolojisinin ve Cad sistemlerinin gelişmesi ile karmaşık problemler kolay bir şekilde modellenmektedir. Bir prototip oluşturulmadan önce birçok alternatif yapılar bilgisayar üzerinde denenebilir. Tüm bunlar sonlu eleman metodunun temel teorisine, modelleme tekniklerine ve sayısal yöntemlerine ayak uydurmaya ihtiyacımız olduğunu göstermektedir. Bu analiz yönteminde bir süreç olarak tarif edilen karmaşık alanlar sonlu elemanlar denilen basit geometrik şekillere ayrıştırılarak elde edilir. Malzeme özellikleri ve yönetimsel ilişkiler bu elemanlar üzerinde düşünülür ve eleman köşelerinde bilinmeyen değerler ifade edilir. Bir montaj işlemi bir takım denklemlerin çözümlerinde yükleme ve kısıtları usulüne uygun hesaba katar. Bu denklemlerin çözümü sürekli ortamın yaklaşık davranışlarını verir.

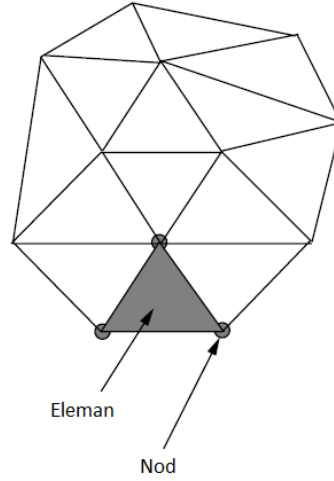
Her geçen gün gelişmekte olan Dünyamızda, yeni teknolojilere ve tasarımlara ihtiyacımız artmaktadır. Yeni bir tasarım yapılırken ya da ürün geliştirilirken, ürünün mukavemeti, ısı değişimleri ve performansı gibi pek çok faktörün hassas çözümle gerçekleşmesi beklenmektedir. Bu nitelikteki problemlerin çözümü Sonlu elemanlar yöntemi ile sağlanmaktadır.

Malzemeler yada sistemler uzun süre çok sıcak yada çok soğuk ortamda çalışmak zorunda kalırlar. Bu durumda sistemin tasarımının düzgün yapılabilmesi, sıcaklık dağılımının ve akışının bilinmesi gereklidir. Malzemelerdeki bu sıcaklık değişimi ile meydana gelen ısı gerilmeler, bölgelere göre değişen ısı dağılımları ve mekanik özelliklerin değişimi belirlenen sınır şartlarında denklemlerin çözümü ile bulunmaktadır. Bu yöntem sistemlerde ortaya çıkan ısı değişimlerin ve mekanik değişimlerin homojen olmasını ve kritik bölgelerin tanımlanmasını sağlamaktadır. Sistemlerde bu hassasiyetteki çözümlerin gerçekleşmesi zaman kavramı ve maliyet açısından da fayda sağlamaktadır.

Sonlu elemanlar metodunda yapılar, davranışı daha önceden belirlenmiş küçük ve basit elemanlara bölünürler. Bu basit ve küçük sonlu elemanlar nod (düğüm noktası) olarak belirtilen noktalarda tekrar birleşmekte ve matematiksel denklemler elde edilerek sonuçlar bulunmaktadır. Bu denklemin matris formundaki gösterimi (ref);

$$[K].[D] = [R] \quad (4.1)$$

şeklinindedir. Burada K global rijitlik matrisi, D bilinmeyen deplasman vektörü ve R kuvvet vektörüdür [89].



Şekil 22. Tipik Sonlu Elemanlar Mesh Gösterimi [90]

Şekilde gösterildiği gibi sonlu elemanlar yöntemi hem alanların hem de denklemlerin ayrıştırılmasını sağlar. Bu süreçte değişkenler alan üzerinde parçalı olarak gösterilir. Çözüm bölgesi eleman olarak nitelendirilen çok sayıda küçük bölgelere ayrılır ve uygun bilinen bir fonksiyona benzetilerek diferansiyel denklemler ve elemanlar arasında bir ilişki kurulur.

4.1. Sonlu Elemanlar Yönteminin Özellikleri

Sonlu elemanlar yöntemine ait özellikler aşağıdaki gibi verilebilir [91].

- Sonlu elemanlar analizi çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir.
- Sistem malzeme özelliklerine ve uygulanabilir sınır şartlarına sahip olup alt parçalara ayrılmaktadır.
- Bu parçalara ait matris denklemler oluşturulmakta ve matrisler bilgisayarla çözülmektedir.
- Düzensiz ve çok karmaşık geometriye sahip sistemlerin incelenmesine olanak sağlar. (CAD/CAM uygulamalarına kolayca entegre edilebilir.)
- Değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlere uygulanabilir. Örneğin, heterojen, anizotropik, nonlineer malzemeler, vb.
- Karışık ve süreksiz sınır şartlarının, düzensiz yükleme durumlarının, süreksiz ve tekil yüklerin, vb. nin sisteme uygulanması mümkündür.

4.2. Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantajları

Bu metodun kullanılması durumunda elde edilecek avantajlar aşağıdaki gibi verilmiştir [92].

- Sonlu Elemanlar Elemanlar Yöntemi, geometrisi karmaşık şekillerin incelenmesine olanak sağlar.

- Çözüm bölgesi alt bölgelere ayrılabilir ve değişik sonlu elemanlar kullanılabilir. Gerektiğinde bazı alt bölgelerde daha hassas hesaplamalar yapılabilir,
- Değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde kolaylıkla uygulanabilir. Örneğin, anizotropi, nonlineer, zamana bağlı malzeme özellikleri gibi malzeme özellikleri dikkate alınabilir,
- Parçanın geometrisinde basitleştirme yapma ihtiyacı duyulmaz,
- Sınır koşulları, sistemin temel denklemleri kurulduktan sonra, oldukça basit satır sütun işlemleriyle denklem sistemine dahil edilebilir,
- Matematiksel olarak genelleştirilebilir ve çok sayıda problemi çözmek için aynı model kullanılabilir,
- Yöntemin hem fiziksel anlamı hem de matematiksel temeli mevcuttur, mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek birçok yazılım mevcuttur.

4.3. Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Alanları

Sonlu elemanlar metodu, yapısal mekanik problemlerinin yanı sıra, ısı iletimi, akışkanlar mekaniği, elektrik ve manyetik alanlar ile ilgili mühendislik problemlerinin çözümü için de kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar metodunun genel olarak uygulandığı alanlar ve bu alanlara ait bazı örnekler aşağıdaki tabloda gösterilmektedir [93].

Uygulama Alanları	Örnekler
Isı İletimi	Sürekli rejim için katı ve akışkanlarda sıcaklık dağılımı Roket çıkışlarında, içten yanmalı motorlarda, türbin kanatlarında; kanatçıklarda ve binalarda ısı akışı
Mekanik Tasarım	Basıncı kapların, pistonların, kompozit malzemenin, dişlilerin, vs. gerilme analizi Gerilme konsantrasyonu problemleri Dinamik yük altında çatlak ve kırılma mekaniği problemleri
Nükleer Mühendislik	Nükleer basıncı kapların ve yapıların analizi Reaktör parçalarında sürekli rejim için sıcaklık dağılımı Reaktör parçalarında kararsız sıcaklık dağılımı Reaktör yapılarının ısı ve viskoelastik analizi
Hidrodinamik	Hidrolik yapıların ve barajların analizi Potansiyel, serbest yüzey, sınır tabakası ve viskoz akışlar ile transonik aerodinamik problemlerin çözümü Kararsız akış ve dalga ilerlemesi analizi Gözenekli yapılarda sızıntı Gaz dinamiği Magnetohidrokinamik akışlar
Uçak Mühendisliği	Gövdenin, kanatların, kanatçıkların statik analizi Roketlerin, füzelerin statik analizi Yapıların gelişigüzel yüklere cevabı Yapıların periyodik olmayan yüklere cevabı Doğal frekanslar Stabilite analizi
İnşaat Mühendisliği	Çerçevelerin, levhaların, çatıların ,duvarların,köprülerin,

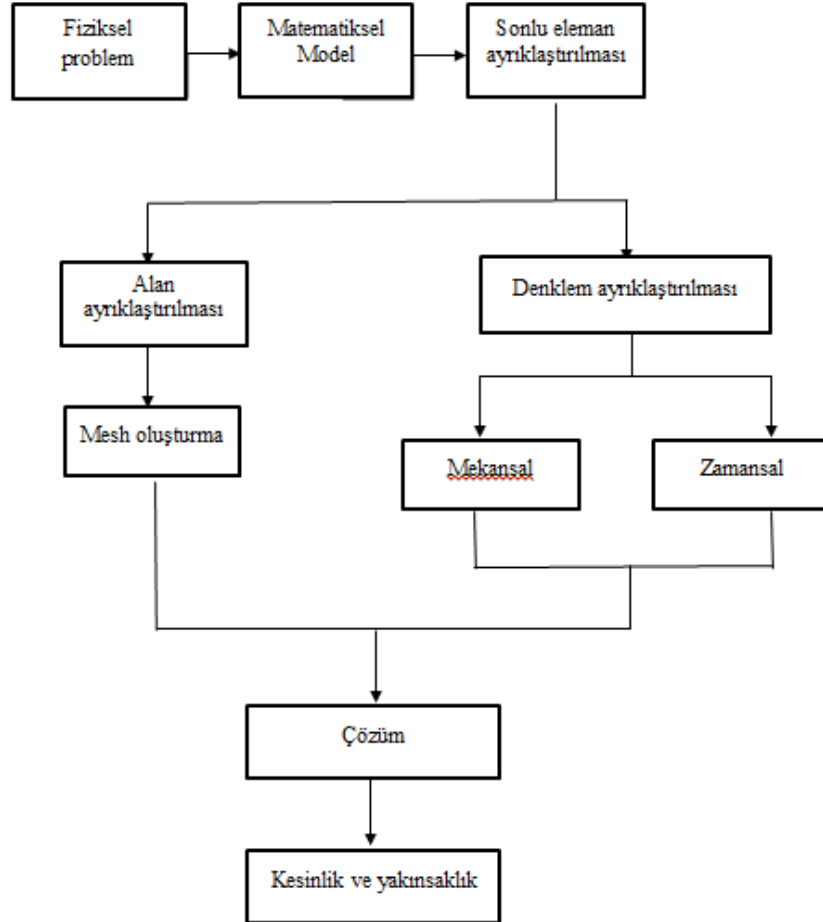
	kirişlerin, Makasların vs. ve öngerilimli beton elemanlarının statik analizi Gerilme dalgalarının ilerlemesi Yapıların periyodik olmayan yüklere cevabı
Biyomühendislik	Kemiklerde, dişlerde, gözlerde, vs. gerilme analizi Doğal yapılar ve protezler için yük taşıma kapasitesi analizi Kalp kapakçıklarının Mekanikliği Kafatasının darbe analizi Anatomik yapılarının dinamiği

4.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modelleme ve Çözüm İşlemleri

Bu aşamada sonlu elemanlar yönteminin çözüm süreci adım adım anlatılacaktır [90].

4.4.1. Ayrıklaştırma Süreci

Çözüm bölgesi çakışmayan öğelere veya alt bölgelere bölünür. Sonlu elemanlar ayrıklaştırılması, üçgenler, dörtgenler gibi çeşitli eleman şekillerine olanak tanır.



Şekil 23. Isı transferi hesaplamaları için sayısal model [90]

4.4.2. Enterpolasyon veya Şekil Fonksiyonlarını Seçmek

Bir eleman üzerinde değişkenin değişimi ifade eden enterpolasyon fonksiyonunun türü seçilmektedir. Dügümlerin sayısı bir eleman oluşturur; Her düğümdeki bilinmeyenlerin niteliği ve sayısı eleman içindeki bir alan değişkeninin varyasyonuna karar verir.

4.4.3. Denklemleri Oluşturma ve Biraya Getirme

Daha sonra, sol eksen bir matris ve yük vektörü oluşturarak, tek tek elemanların özelliklerini ifade eden matris denklemlerini belirlemeliyiz. Daha sonra sistemin genel özelliklerini bulmak için tüm bireysel öğeler denklemlerini bir araya getirmeliyiz, yani, her öğenin matris denklemlerini sonuçtaki matrisin sorunun tüm çözüm alanının davranışını temsil edecek şekilde uygun bir şekilde birleştirmek zorundayız.

4.5. Sonlu Elemanlar Formülasyonu

İlgilendiğimiz alan değişkeni sıcaklık T 'yi ve ilgili türevlerini şekil fonksiyonları cinsinden aşağıdaki gibi yazabiliriz [94].

$$T^e(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^r N_i(x, y, z) T_i(t) \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial T^{(e)}}{\partial x}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^r \frac{\partial N_i}{\partial x}(x, y, z) T_i(t) \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial T^{(e)}}{\partial y}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^r \frac{\partial N_i}{\partial y}(x, y, z) T_i(t) \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial T^{(e)}}{\partial z}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^r \frac{\partial N_i}{\partial z}(x, y, z) T_i(t) \quad (4.5)$$

Matris gösterimde;

$$\{A\} = [N][B]T^{(e)} \quad (4.6)$$

$$\{A\} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial T}{\partial x}(x, y, z, t) \\ \frac{\partial T}{\partial y}(x, y, z, t) \\ \frac{\partial T}{\partial z}(x, y, z, t) \end{Bmatrix} \quad (4.7)$$

$$[N(x, y, z)] = [N_1 N_2, \dots, N_r] \quad (4.8)$$

$$[B(x, y, z)] = \begin{Bmatrix} \frac{\partial N1}{\partial x} & \frac{\partial N2}{\partial x} & \dots & \frac{\partial Nr}{\partial x} \\ \frac{\partial N1}{\partial y} & \frac{\partial N2}{\partial y} & \dots & \frac{\partial Nr}{\partial y} \\ \frac{\partial N1}{\partial z} & \frac{\partial N2}{\partial z} & \dots & \frac{\partial Nr}{\partial z} \end{Bmatrix} \quad (4.9)$$

4.5.1. Süreksiz Denklemler Başlangıç ve Sınır şartları

Durağan bir ortam için geçici ısı denklemi [95]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + G = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.10)$$

Burada $k_x(T)$, $k_y(T)$ ve $k_z(T)$ x, y ve z yönlerinde sıcaklığa bağlı termal iletkenliklerdir. Bu problemin sınır şartları;

$$T = T_b, \Gamma_b \text{ 'de}$$

$$k_x(T) \frac{\partial T}{\partial x} l + k_y(T) \frac{\partial T}{\partial y} m + k_z(T) \frac{\partial T}{\partial z} n + q + h(T - T_a) = 0 \Gamma_q \text{ 'de} \quad (4.11)$$

Burada $\Gamma_b \cup \Gamma_q = \Gamma$ ve $\Gamma_b \cap \Gamma_q = 0$. Γ tüm sınırı temsil eder. Yukarıdaki denklemde l , m ve n yön cosinüsleri, h ısı transfer katsayısı, T_a atmosferik sıcaklık ve q sınır ısı akısıdır. Problem için başlangıç şartı;

$$T = T_0 \text{ t} = 0.0 \text{ 'da} \quad (4.12)$$

Uygun uzaysal ve zamansal ayrıklaştırmanın mevcut olması koşulu ile sistemi çözmek mümkündür. Zamana bağlı ayrıklaştırma davranışından önce aşağıda süreksiz denklemler için Galerkin ağırlıklandırılmış fark formu gösterilmiştir.

4.6. Galerkin Metodu

Galerkin metodu matematikte devam eden problemi ayrı bir probleme dönüştürmede kullanılır. Bu yaklaşım Rus matematikçi Boris Galerkin tarafından oluşturulmuştur ancak İsviçreli matematikçi Walther Ritz tarafından Galerkin'e değinerek keşfedilmiştir. Galerkin metodu için süreksiz denklemler uygun başlangıç ve sınır koşullarında ele alınmaktadır. N_i , şekil fonksiyonu n , bir elementteki düğüm sayısı ve $T_i(t)$ zamana bağlı düğüm sıcaklığıdır [95].

$$T(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^n N_i(x, y, z) T_i(t) \quad (4.13)$$

$$\int_{\Omega} N_i \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right) + G - \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \right] d\Omega = 0 \quad (4.14)$$

Denklem 4.13 ele alınarak parçalanmış ilk üç terimini birleştirme,

$$\begin{aligned} & - \int_{\Omega} \left[k_x(T) \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + k_y(T) \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} + k_z(T) \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} - N_i G + N_i \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \right] d\Omega \\ & + \int_{\Gamma_q} N_i k_x(T) \frac{\partial T}{\partial x} l d\Gamma q + \int_{\Gamma_q} N_i k_y(T) \frac{\partial T}{\partial y} m d\Gamma q + \int_{\Gamma_q} N_i k_z(T) \frac{\partial T}{\partial z} n d\Gamma q = 0 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Denklem 4.11 dikkate alınarak,

$$\begin{aligned} & \int_{\Gamma_q} N_i k_x(T) \frac{\partial T}{\partial x} l d\Gamma q + \int_{\Gamma_q} N_i k_y(T) \frac{\partial T}{\partial y} m d\Gamma q + \int_{\Gamma_q} N_i k_z(T) \frac{\partial T}{\partial z} n d\Gamma q \\ & = - \int_{\Gamma_q} N_i q d\Gamma q - \int_{\Gamma_q} N_i h(T - T_a) d\Gamma q \end{aligned} \quad (4.16)$$

Denklem 4.13'den itibaren uzaysal yaklaşımı yerine koyarsak denklem 4.15 haline gelir,

$$\begin{aligned} & - \int_{\Omega} \left[k_x(T) \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} T_j(t) + k_y(T) \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} T_j(t) + k_z(T) \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} T_j(t) \right] d\Omega \\ & + \int_{\Gamma_q} \left[N_i G - N_i \rho c_p \frac{\partial N_j}{\partial t} T_j(t) \right] d\Omega - \int_{\Gamma_q} N_i q d\Gamma q - \int_{\Gamma_q} N_i h(T - T_a) d\Gamma q = 0 \end{aligned} \quad (4.17)$$

burada i ve j düğümleri temsil eder. Denklem 4.17 daha uygun bir formda yazılır,

$$[C] \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\} + [K] \{T\} = \{f\} \quad (4.18)$$

veya

$$[C_{ij}] \left\{ \frac{\partial T_j}{\partial t} \right\} + [K_{ij}] \{T_j\} = \{f_i\} \quad (4.19)$$

burada

$$[C_{ij}] = \int_{\Omega} \rho c_p N_i N_j d\Omega \quad (4.20)$$

$$[K_{ij}] = \int_{\Omega} \left[k_x(T) \frac{\partial N_i}{\partial x} \frac{\partial N_j}{\partial x} T_j + k_y(T) \frac{\partial N_i}{\partial y} \frac{\partial N_j}{\partial y} T_j + k_z(T) \frac{\partial N_i}{\partial z} \frac{\partial N_j}{\partial z} T_j \right] d\Omega$$

$$+\int_{\Gamma} hN_iN_j d\Gamma \quad (4.21)$$

ve

$$\{f_i\} = \int_{\Omega} N_i G d\Omega - \int_{\Gamma_q} q N_i d\Gamma q + \int_{\Gamma_a} N_i h T_a d\Gamma \quad (4.22)$$

Matrix formunda,

$$[C] = \int_{\Omega} \rho c_p [N]^T [N] d\Omega \quad (4.23)$$

$$[K] = \int_{\Omega} [B]^T [D][B] d\Omega + \int_{\Gamma} h [N]^T [N] d\Gamma \quad (4.24)$$

ve

$$\{f\} = \int_{\Omega} G [N]^T d\Omega - \int_{\Gamma_q} q [N]^T d\Gamma q + \int_{\Gamma_a} h T_a [N]^T d\Gamma \quad (4.25)$$

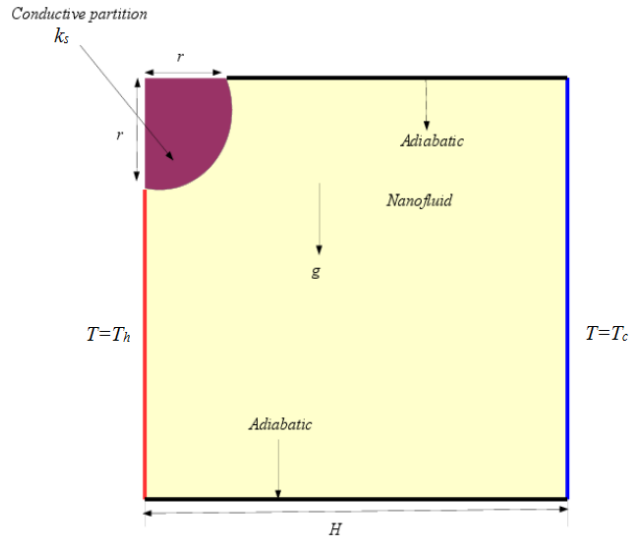
$k_x(T)$, $k_y(T)$ ve $k_z(T)$ sıcaklık fonksiyonları olduğu için denklem 4.18 doğrusal değildir ve iteratif bir çözüm gerektirir. Eğer k_x , k_y ve k_z sıcaklıktan bağımsız ise, denklem 4.18 formda lineerdir.

5. İÇİ NANOAKIŞKAN DOLU KÖŞE BÖLMELİ BİR KAVİTENİN SAYISAL ANALİZİ

5.1. Fiziksel Model

Bu bölümde farklı şekillerde nanopartiküller ile doldurulmuş köşe bölmeli kare boşlukta doğal konveksiyonun sayısal incelenmesi Comsol programında yapılmıştır. Bu programın çözümleri Galerkin ağırlıklandırılmış fark (Galerkin Weigheded Residual) sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaya ait fiziksel model Şekil 24'de gösterilmiştir. Kare boşluk farklı partikül şekillerine sahip (silindirik, blade, brick ve küresel) SiO_2 -Su nanoakışkanı ile doludur. Boşluğun sol üst köşesine r yarıçapında çeyrek dairesel iletken bir bölüm eklenmiştir. Analiz de sınır şartları olarak sol dikey duvar T_h sabit sıcaklığında, sağ dikey duvar T_c sabit sıcaklığında, alt ve üst duvarlar ise adyabatik olarak alınmıştır. Yapılan analizlerde parametrelerin ortalama ısı transfer özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Rayleigh sayısının etkisi, partikül şekli, ısıl iletkenlik, yarıçap ve hacim oranı çeşitli değerlerde alınarak analizler yapılmış ve ısı transferine olan etkisi bu çeşitli parametrelerin değişimine göre incelenmiştir.

Kaviteye ait kare H uzunluğundadır ve dairesel kesitli köşe bölmesinin yarıçapı r dir. R ile yarıçapın uzunluğa oranı olan $R= r/L$ değeri temsil edilmektedir. Çalışma farklı R değerleri (0 ile 0.4), Rayleigh sayıları, katı partikül miktarı (0 ile 0.04), ısıl iletkenlik oranları (0.06 ile 6 arasında) yapılmıştır. Çalışmaya ait geometri Şekil 24'de gösterilmiştir.



Şekil 24. Fiziksel modelin şematik tanımı

Kavite içerisinde akış sirkülasyonu köşe bölgelerde zayıftır ve ısı transferini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle köşelerde etkili akışkan hareketinin kontrolünün sağlanması için kavite içerisine köşe bölmesi eklenmiştir. Çalışma sıvısı olarak kullanılan SiO_2 -Su nanoakışkanının düşük maliyetli olması, hazırlığının kolay

olması, daha iyi fiziksel ve kimyasal özelliklerine sahip olması ve ucuz olması gibi avantajları vardır.

5.2. Matematiksel Modelleme

5.2.1. İlgili Diferansiyel Denklemler ve Sınır Şartları

Akışın 2D laminar olduğu varsayılır ve kaldırma kuvvetindeki yoğunluk Boussinesq yaklaşımına göre modellenmiştir. Termal ışıınım etkileri ve viskoz ısınma etkileri gözardı edilmiştir. Sisteme ait denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (5.1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_{nf} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (5.2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_{nf}} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu_{nf} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \beta_{nf} g (T - T_c) \quad (5.3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha_{nf} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (5.4)$$

İletken katı ortam için:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (5.5)$$

Boyutsuz fiziksel ve geometrik parametreler;

$$Gr = \frac{g \beta_f (T_h - T_c) H^3}{\nu_f^2},$$

$$Pr = \frac{\nu_f}{\alpha_f}, \quad Ra = Gr Pr \quad (5.6)$$

$$K_r = \frac{k_s}{k_f}, \quad R = \frac{r}{H}$$

Sınır Şartları:

Sıcak duvar için: $u=v=0, T=T_h$

Soğuk duvar için: $u=v=0, T=T_c$

Katı alan ile birlikte sıvı alanın arayüzeyi boyunca:

$$k_f \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_f = k_s \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_s \quad (5.7)$$

Adyabatik duvarlar:

$$u = v = 0, \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_w = 0 \quad (5.8)$$

Eş Akış Eğrisi

Akım çizgisi, her yerde yerel hız vektörüne paralel olan bir çizgi olarak tanımlanmaktadır. Akım çizgileri akış alanı boyunca akışkan hareketinin anlık yönlerini göstererek kolaylık sağlar [96].

Yerel hız vektörü:

$$\vec{V} = ui + vj + wk \quad (5.9)$$

Bir akım çizgisi boyunca sonsuz küçük uzunluktaki yay uzunluğu :

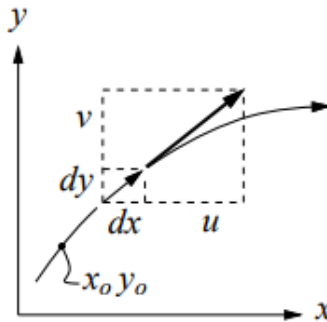
$$d\vec{r} = dx i + dy j + dz k \quad (5.10)$$

Akım çizgisinin tanımına göre $d\vec{r}$ yerel hız vektörüne paralel olmalıdır.

Akım çizgisi denklemi :

$$\frac{dr}{V} = \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w} \quad (5.11)$$

Akım çizgisi iki boyutta (x,y),(u,v) için aşağıdaki diferansiyel denklem elde edilir.



Şekil 25. 2D akım çizgisi [97]

xy düzleminde akım çizgisi: $\frac{dy}{dx} = \frac{v}{u} \quad (5.12)$

Nusselt Sayıları

Muhafazanın sıcak duvarı boyunca yerel Nusselt sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$k_f \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_f = k_s \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_s \quad (5.13)$$

Sıcak duvar boyunca lokal Nusselt sayısının hesaplanması:

$$Nu_y = - \frac{k_{nf}}{k_f} \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{n=0} \quad (5.14)$$

Burada θ boyutsuz sıcaklığı temsil eder ve S duvar boyunca boyutsuz koordinatı belirtir. Ortalama Nusselt sayısı yerel Nusselt sayısı ile sıcak duvar boyunca bütünleştikten sonra elde edilir:

$$Nu_m = \frac{1}{H-r} \int_0^{H-r} Nu_y dy \quad (5.15)$$

5.2.2. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Nanoakışkanların etkili termofiziksel araçları aşağıdaki formüller ile tanımlanmıştır:

$$\rho_{nf} = (1-\phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \quad (5.16)$$

$$(\rho c_p)_{nf} = (1-\phi)(\rho c_p)_{bf} + \phi(\rho c_p)_p \quad (5.17)$$

$$(\rho\beta)_{nf} = (1-\phi)(\rho\beta)_{bf} + \phi(\rho\beta)_p \quad (5.18)$$

Buradaki b_f , n_f ve p sırasıyla temel sıvı, nanoakışkan ve katı partikülü belirtmektedir. Nanoakışkanların termal iletkenliği aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$k_{nf} = k_f \left[\frac{(k_p + 2k_f) - 2\phi(k_f - k_p)}{(k_p + 2k_f) + \phi(k_f - k_p)} \right] \quad (5.19)$$

Brinkman modeline göre nanoakışkanların viskozitesi:

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1-\phi)^{0.25}} \quad (5.20)$$

Küresel olmayan nanoparikül şekilleri için termal iletkenlik ve viskozite aşağıdaki şekilde verilir:

$$k_{nf} = k_f (1 + C_k \phi) \quad (5.21)$$

$$\mu_{nf} = \mu_f (1 + A_1\phi + A_2\phi^2) \quad (5.22)$$

Tablo 5. Farklı nanopartikül şekilleri için nanoakışkanların termal iletkenlik sabiti

Nanopartikül tipi	C_k
Cylindrical	3.95
Bricks	3.37
Blades	2.74

Tablo 6. Farklı nanopartikül şekilleri için nanoakışkanların sabiti

Nanopartikül tipi	A_1	A_2
Cylindrical	13.5	904.4
Bricks	1.9	471.4
Blades	14.6	123.3

5.2.3. Çözüm Yöntemi

Üstteki kısmi diferansiyel denklemler uygun sınır şartları ile birlikte Sonlu elemanlar metodu ile çözüldü. Ticari bir yazılım olan Comsol programı denklemleri çözmek için kullanıldı. Hesaplama bölgesi sonlu elemanlara ayrıldı ve her bir bölgede iki hız bileşeni ve sıcaklık şekil fonksiyonları cinsinden yaklaşık olarak yazıldı ve ilgili kısmi diferansiyel denklemde yerine yazıldı. Galerkin yöntemi kullanılarak denklemler cebirsel hale getirildi ve iteratif yöntemlerden birisi olan Gauss-Seidel yöntemi kullanılarak çözüldü. Galerkin yöntemi tezin yöntem bölümünde anlatıldığı için burada bahsedilmemiştir.

5.3. Analizler

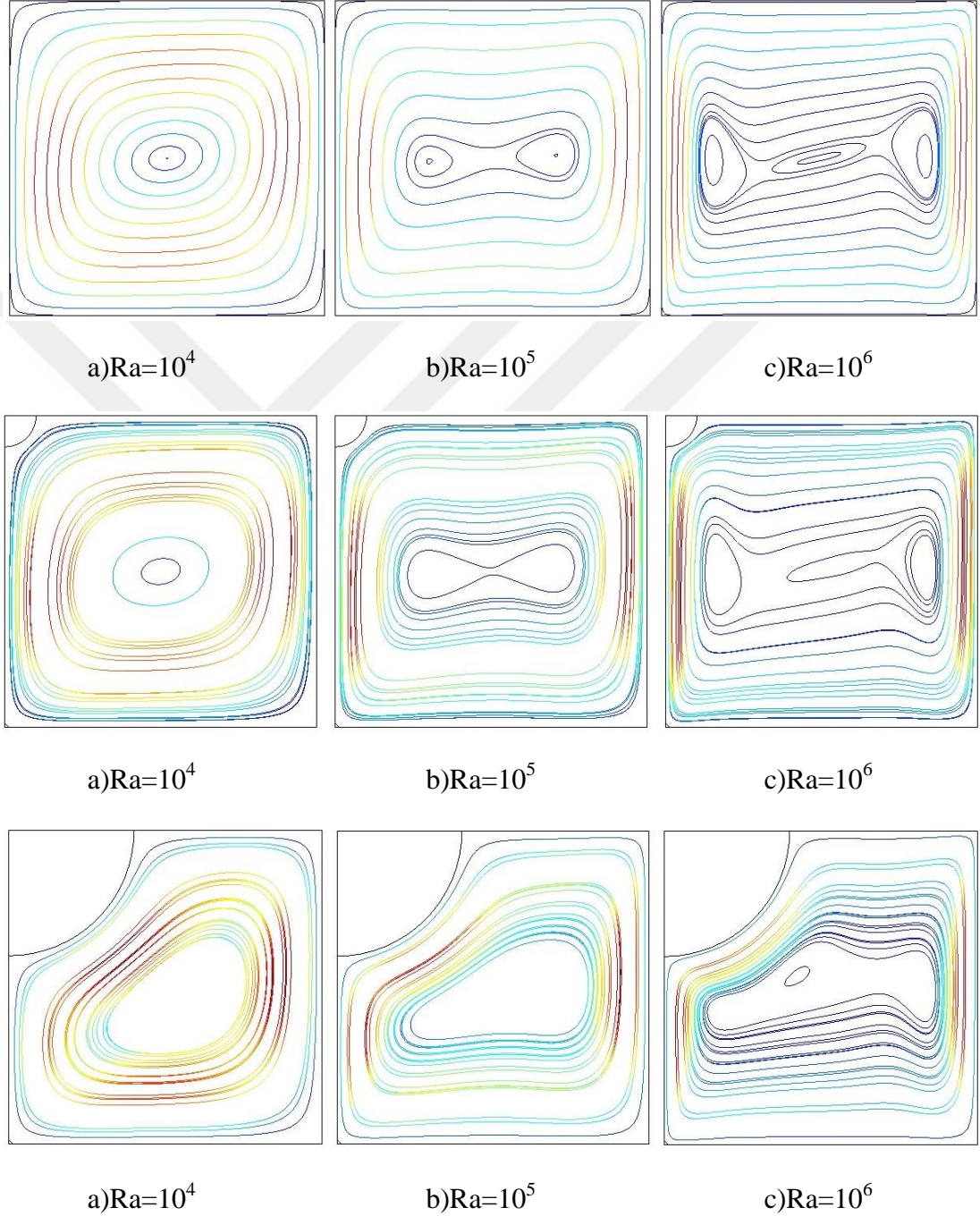
Simülasyon çalışması farklı köşe bölme yarıçaplarında ($R=0,0.1,0.4$), farklı Rayleigh sayılarında (10^4 ile 10^6 arasında), farklı nanopartikül hacimsel oranında (0 ile 0.04 arasında) ve farklı katı bölmenin ısı iletkenliklerinde (ısı iletkenlik oranlarında- 0.1 ile 100 arasında) için yapılmıştır. Sonuçlar eş akış eğrileri ve sıcaklık eğrileri, lokal ve ortalama Nusselt sayılarının değişimi için elde edilmiş ısı transferinde etkili olan parametrik kombinasyonlar ortaya konmuştur.

5.3.1. Rayleigh Sayısının Etkisi

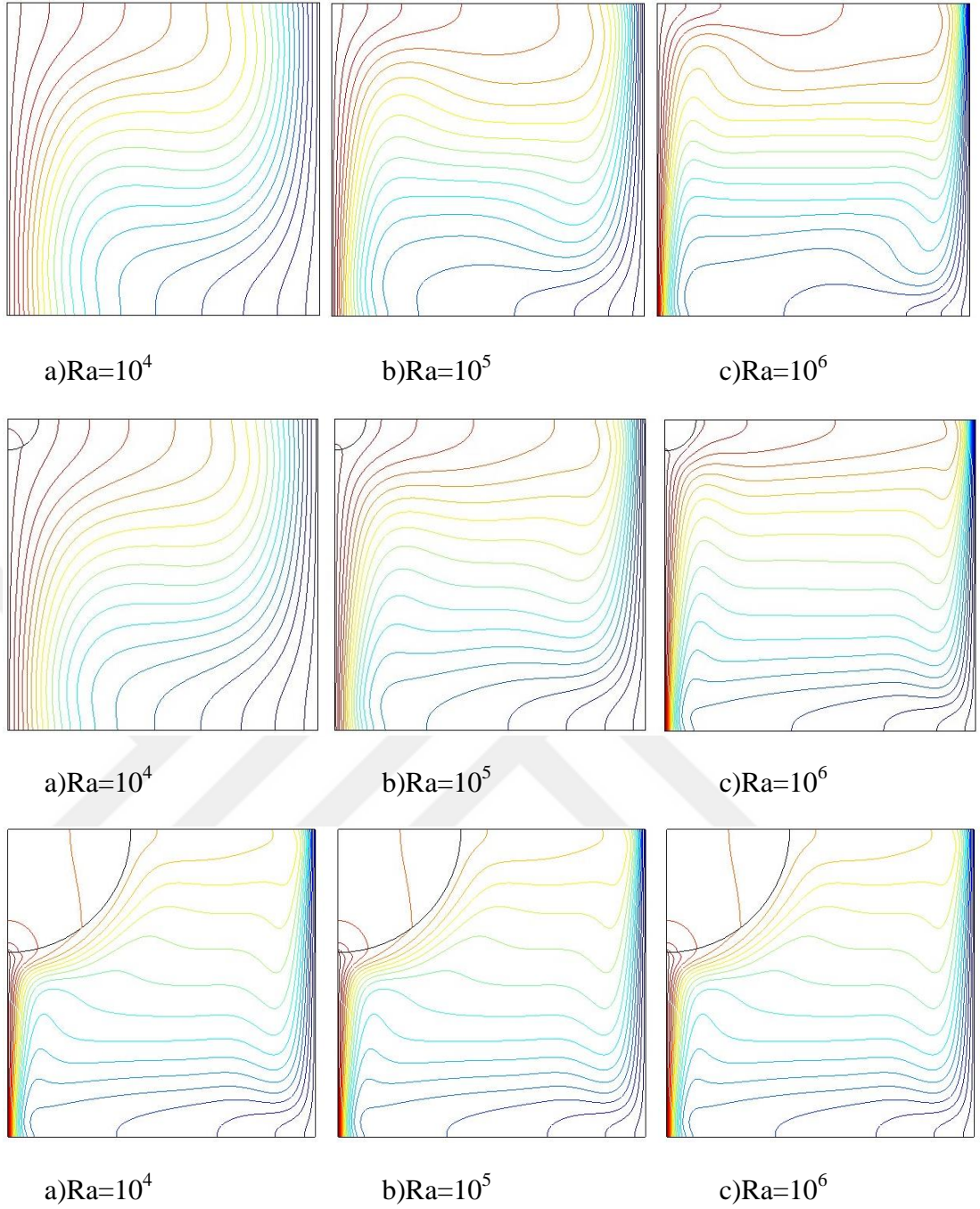
5.3.1.1. Eş Akış ve Sıcaklık Alanı

Küresel nanopartikül içeren nanoakışkanların çeşitli Rayleigh sayısının ve köşe bölmesinin kavite içindeki akış ve termal alanları üzerindeki etkileri Şekil 26 ve 27'de gösterilmektedir ($\phi= 0.02$, küresel nanopartikül). Düşük Rayleigh sayısında köşe bölmesi yok iken tek sirkülasyon formunda hücre merkezi oluşmuştur. Rayleigh sayısı arttıkça konveksiyon artmış, hücre merkez sayısı artmıştır. Akış hızlanmış ve eş akış eğrilerinde bozulmalar meydana gelmiş ve artan kinetik enerjiden dolayı çok hücreli akış yapısı görülmüştür. Köşe bölmesi yokluğunda Rayleigh sayısının en

düşük olduğu durumda eş akış eğrisi dağılımındaki paralellik artmıştır. Rayleigh sayısının artması ile sıcaklık artmıştır. Köşe bölmesi yarıçapı $R=0.1$ 'de akış engel ile karşılaşmış ve akış çizgilerindeki sıklık artmıştır. Köşe bölmesi yarıçapı $R=0.4$ durumunda Rayleigh sayısı arttıkça çok hücreli yapı kaybolmuştur. Sıcak duvarın en alt kısmında eş sıcaklık eğrileri daha fazla kümelenmiştir ve Rayleigh sayısı arttıkça sıcaklık gradyanları daha fazla dikleşmiştir.

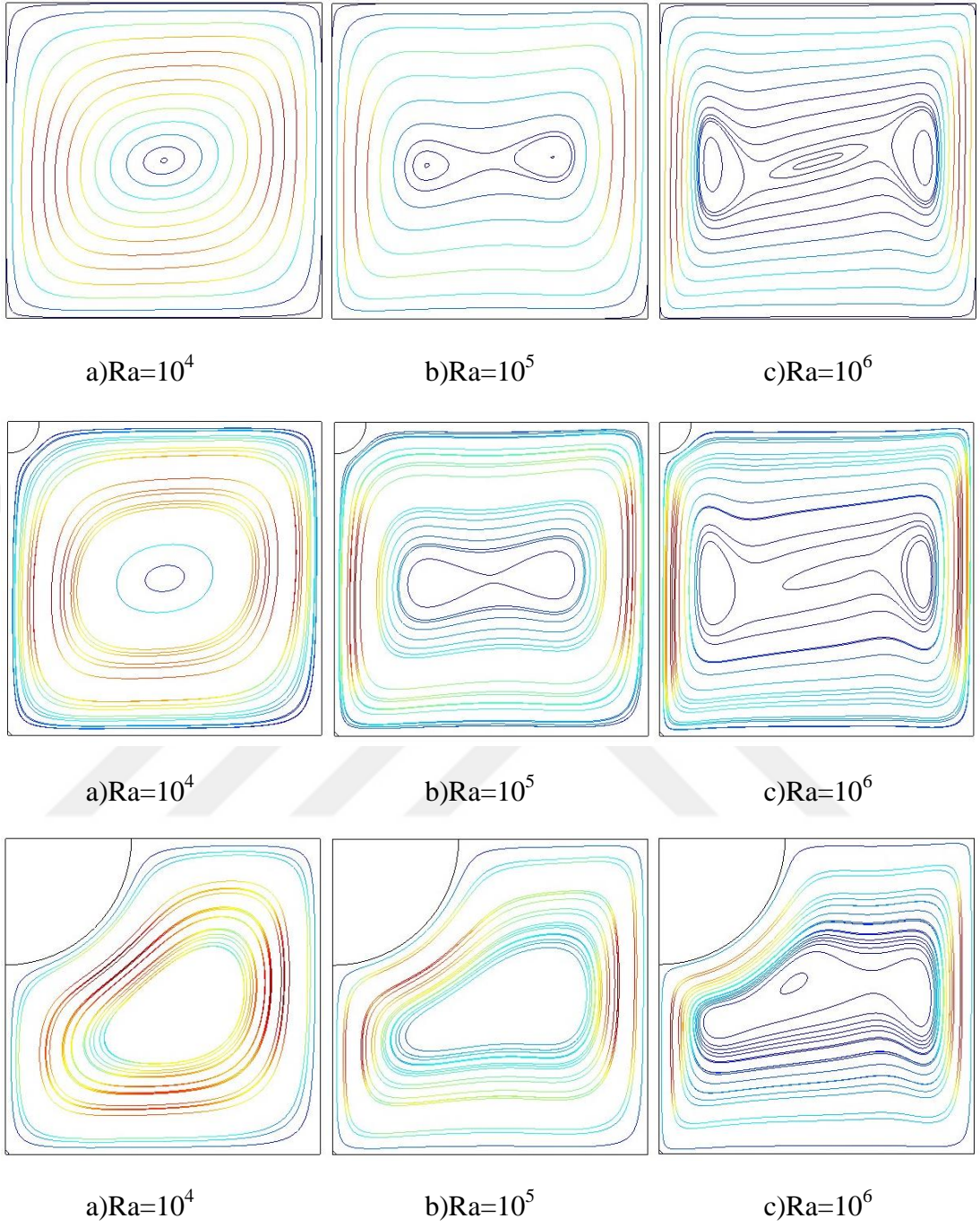


Şekil 26. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş akış dağılımına etkisi ($Kr=10$, $\phi=0.02$, küresel nanopartikül $k=0.6$)

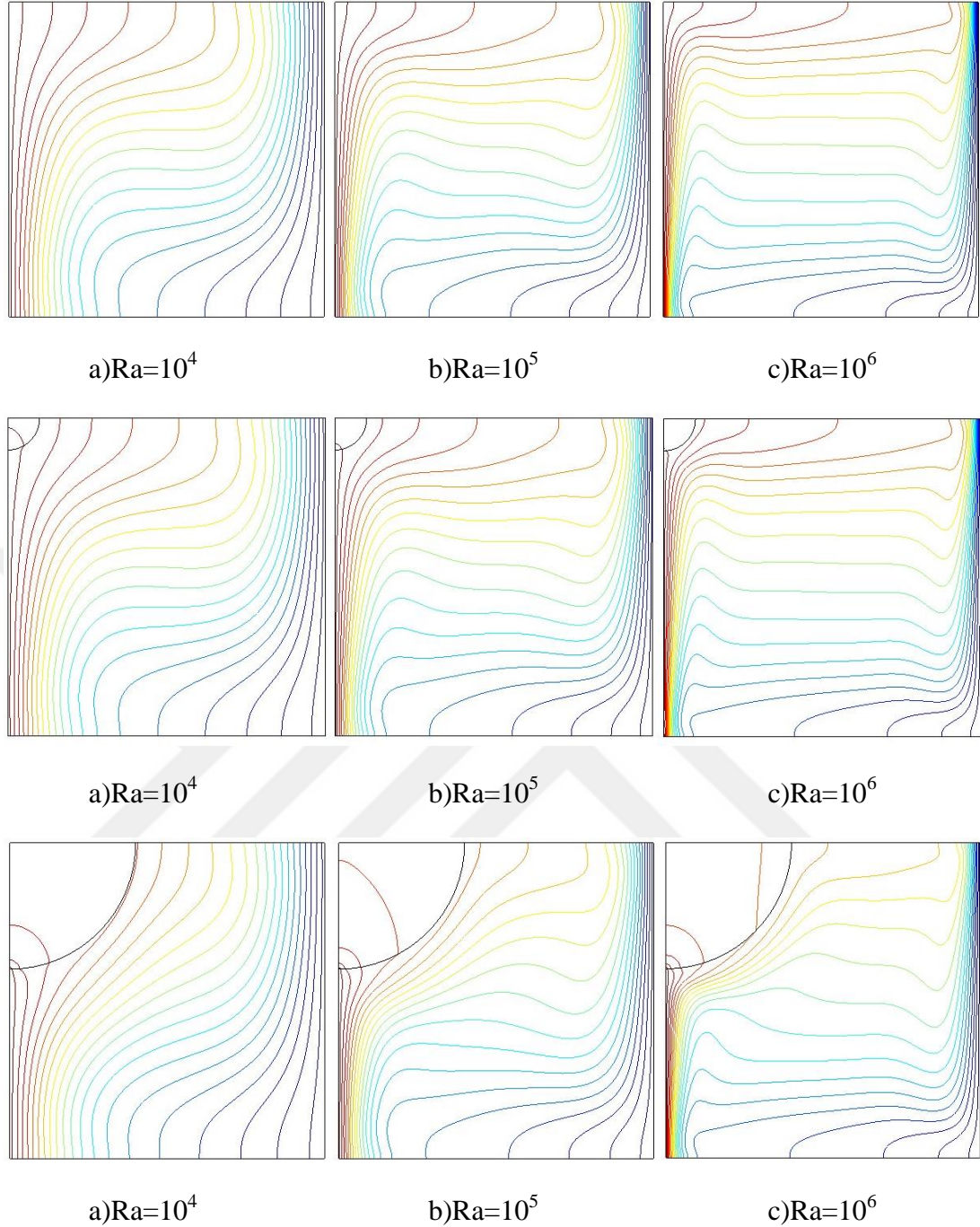


Şekil 27. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.02$, küresel nanopartikül)

Blade şeklinde nanopartikül içeren nanoakışkanların eş akış eğrileri ve sıcaklık alanları Şekil 28 ve 29’da gösterilmiştir. Köşe bölmesi yarıçapı yok iken en düşük Rayleigh sayısında tek hücre oluşmuş, Rayleigh değeri arttıkça hücre merkezinde çekirdeklenme artmıştır. Köşe bölmesi eklendikçe çekirdeklenme kaybolmaktadır. Şekil 26 ve 27 ile kıyaslandığında eş akış eğrileri ve eş sıcaklık eğrileri üzerinde gözle görülen bir değişim yoktur ancak lokal ve ortalama Nusselt sayısında değişiklikler gözlemlenmektedir. Şekil 29’da Rayleigh değeri arttıkça sıcak duvarın en alt kısmında eş sıcaklık eğrileri daha fazla sıklaşmaktadır.

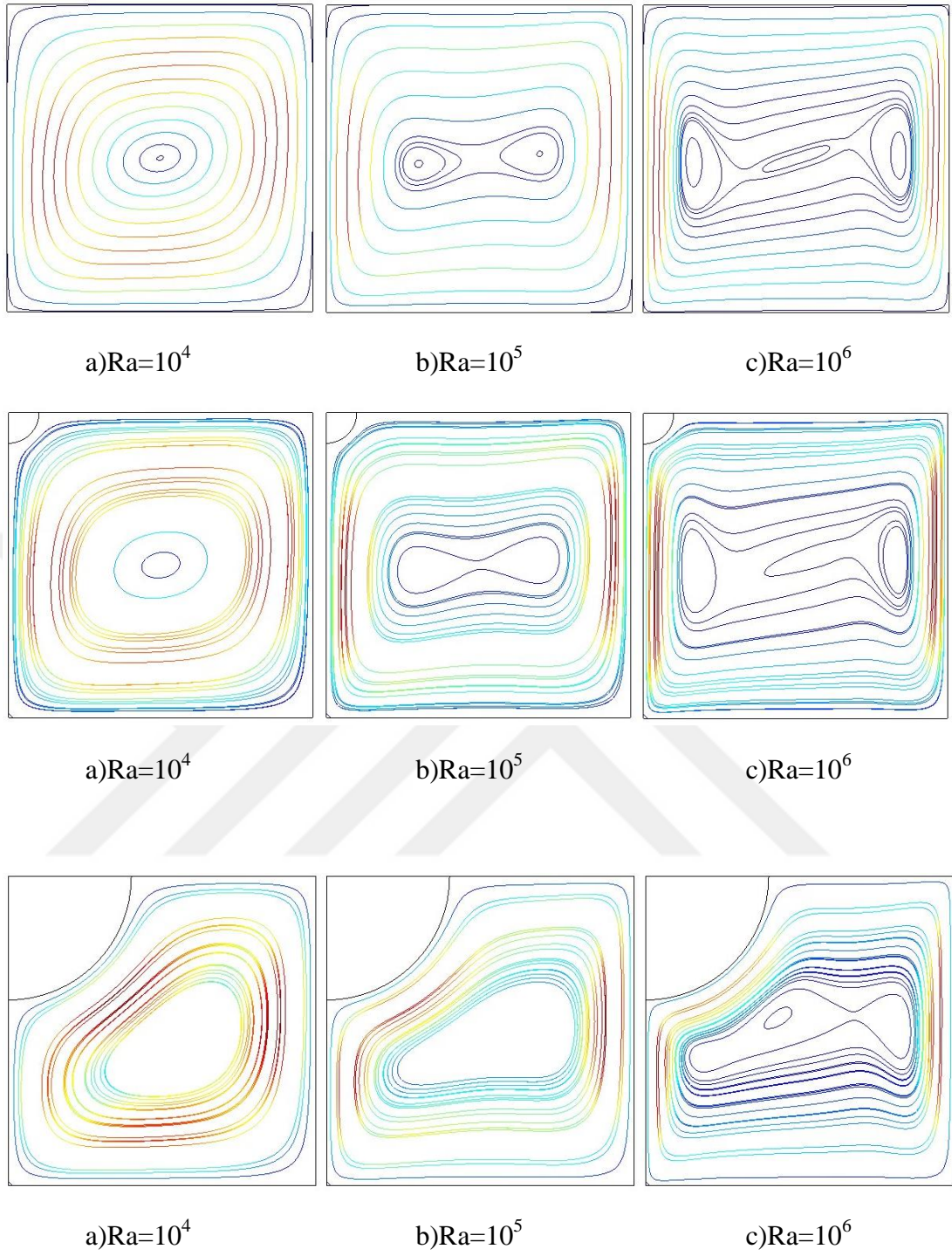


Şekil 28. Köşe bölgesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş akış dağılımına etkisi (Kr= 10, $\phi= 0.03$, blade nanopartikül)

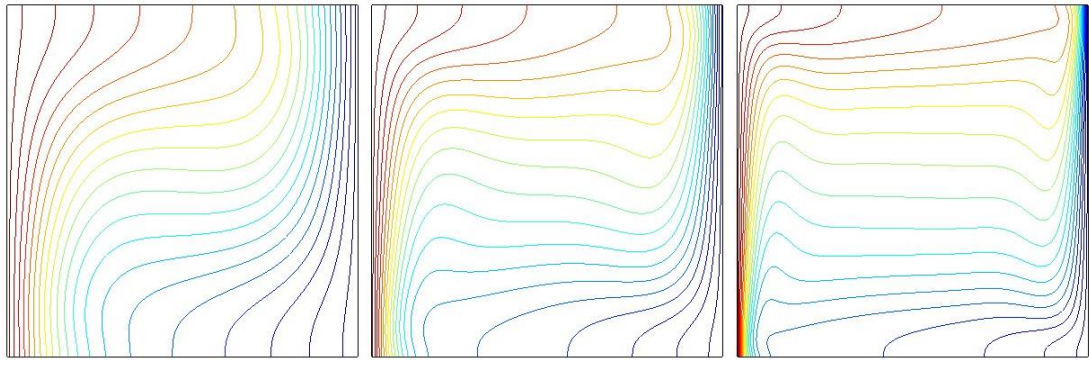


Şekil 29. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.03$, blade nanopartikül)

Şekil 30 ve 31’de silindirik nanopartikül içeren nanoakışkanın artan Rayleigh değerlerinde ve köşe bölgesinde eş akış ve sıcaklık eğrileri gösterilmiştir. Rayleigh sayısı arttıkça konveksiyon artmış, hücre merkezi sayısı artmıştır ve akış hızlanmıştır. Köşe bölgesi yarıçapı eklendiğinde akış engellenerek değişmekte ve sıklaşmaktadır. Köşe bölgesi yarıçapı arttırıldığında ise akış sıklığı daha fazla artmıştır. Şekil 30 ile Şekil 28 karşılaştırıldığında $R=0,4$ yarıçapında en yüksek Rayleigh değerinde eş akış eğrisinin değiştiği gözlemlenmiştir.



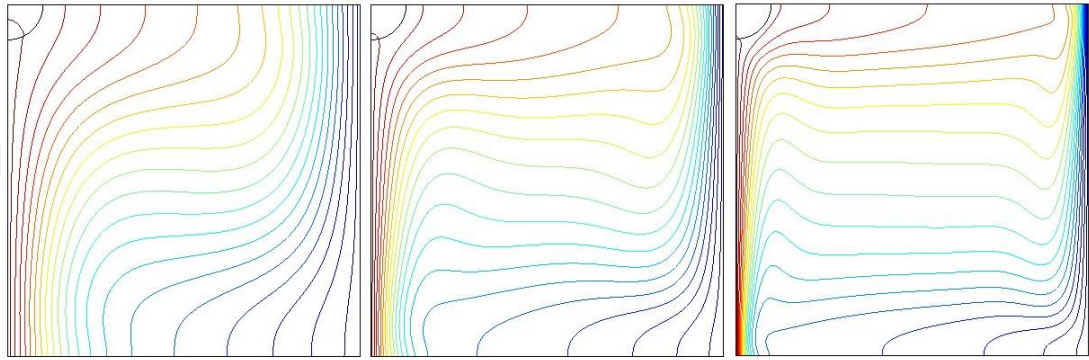
Şekil 30. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş akış dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.03$, silindirik nanopartikül)



a) $Ra=10^4$

b) $Ra=10^5$

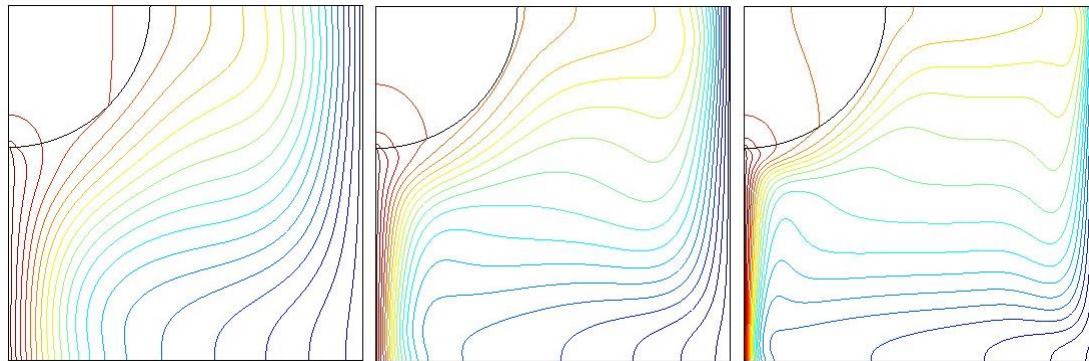
c) $Ra=10^6$



a) $Ra=10^4$

b) $Ra=10^5$

c) $Ra=10^6$



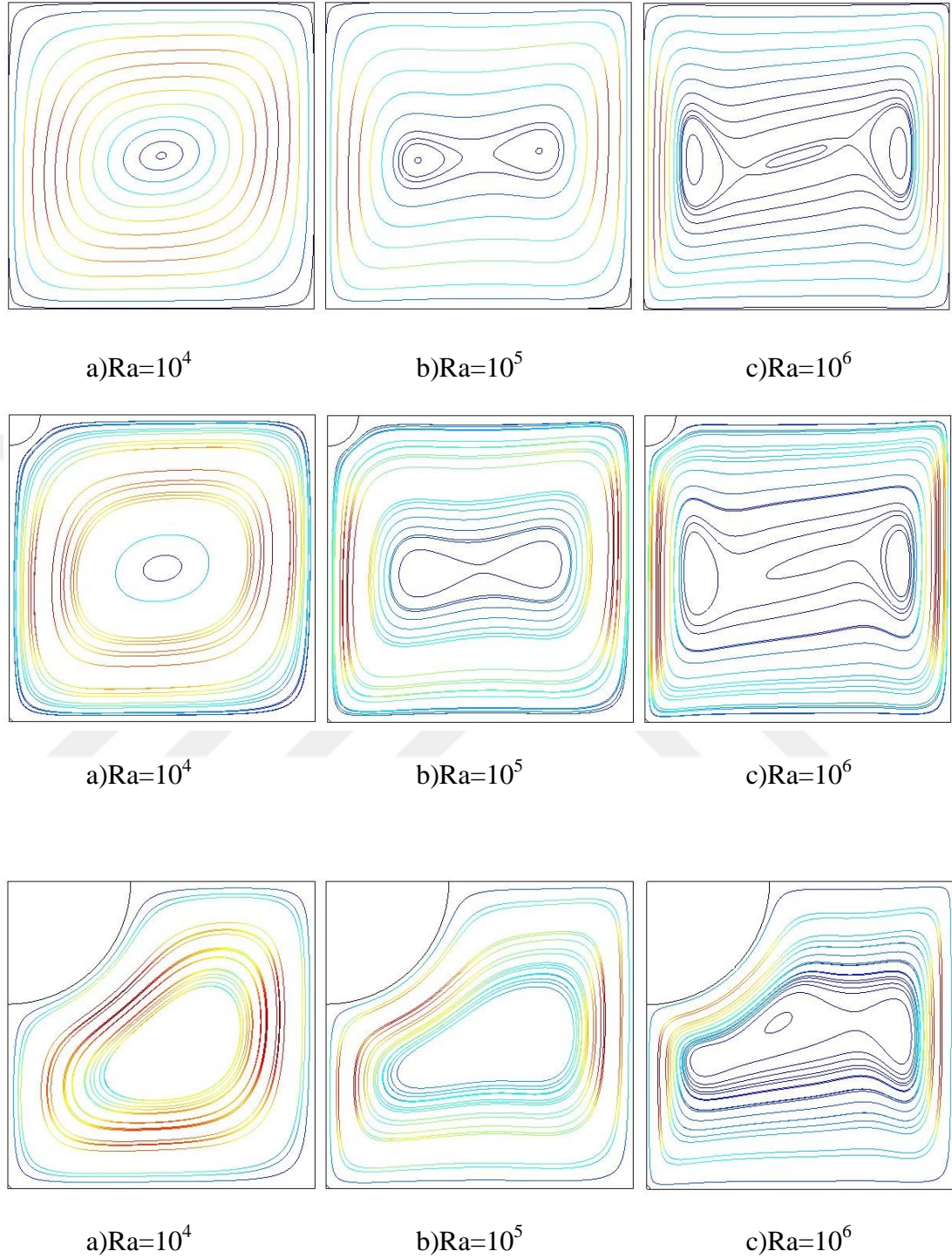
a) $Ra=10^4$

b) $Ra=10^5$

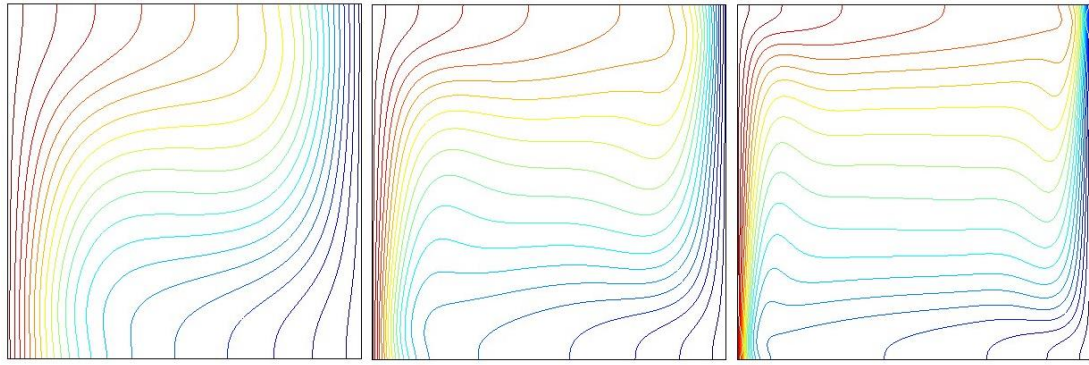
c) $Ra=10^6$

Şekil 31. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.03$, silindirik nanopartikül)

Şekil 32 ve 33’de brick şekile sahip nanopartikül içeren nanoakışkanın eş akış ve eş sıcaklık eğrileri gösterilmiştir.



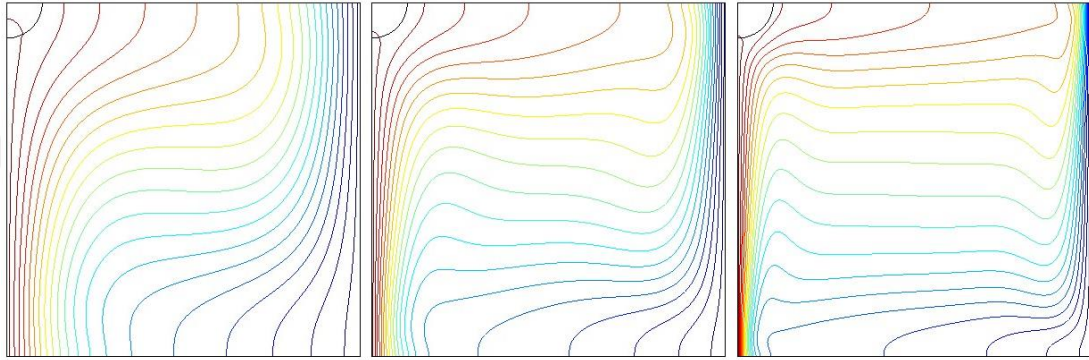
Şekil 32. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş akış dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $\phi= 0.04$, brick nanopartikül)



a)Ra=10⁴

b)Ra=10⁵

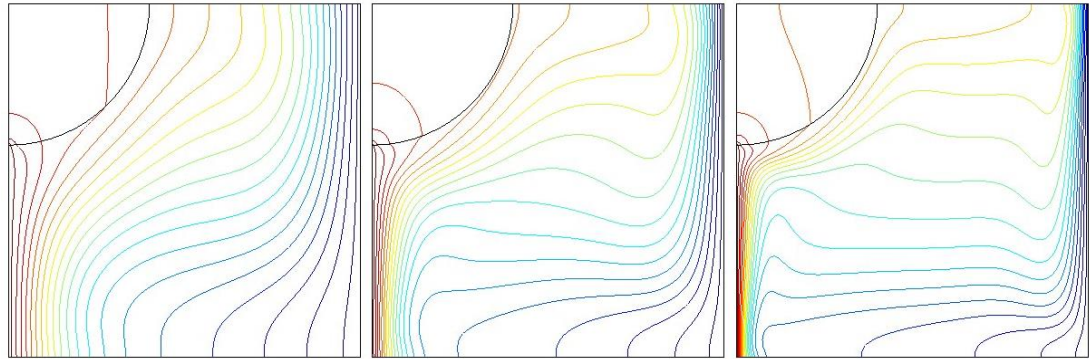
c)Ra=10⁶



a)Ra=10⁴

b)Ra=10⁵

c)Ra=10⁶



a)Ra=10⁴

b)Ra=10⁵

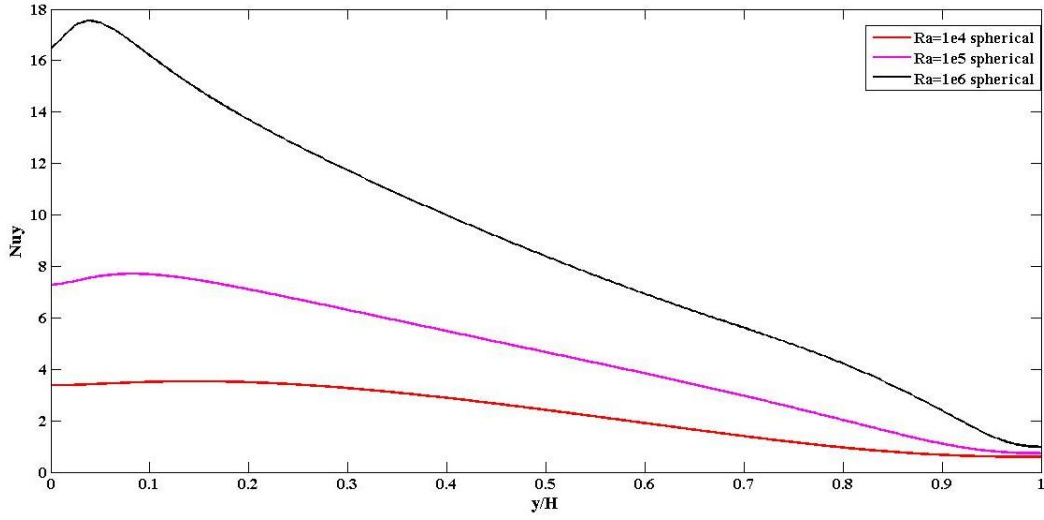
c)Ra=10⁶

Şekil 33. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için Ra sayısının eş sıcaklık dağılımına etkisi (Kr= 10, $\phi= 0.04$, brick nanopartikül)

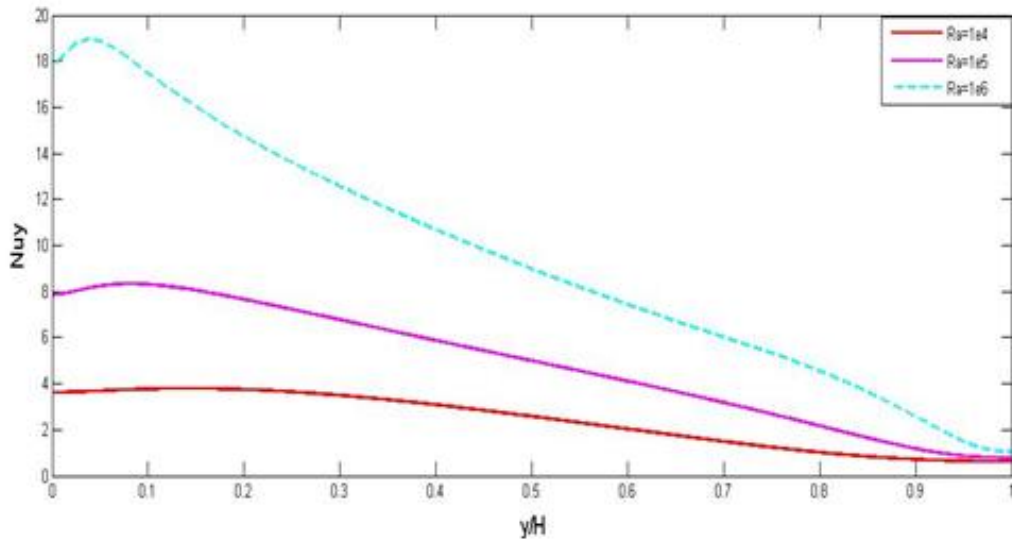
5.3.1.2. Lokal ve Ortalama Nusselt Sayısı Dağılımları

Köşe bölmesinin olmadığı ve partikül hacim oranının $\phi=0.02$ olduğu durumda küresel nanopartikülünün farklı Rayleigh sayılarının değerleri ile sıcak duvar boyunca lokal Nusselt sayısının dağılımları Şekil 34'te gösterilmiştir. Rayleigh değeri arttıkça Nusselt sayısı artmıştır. Isı transferinin en yüksek olduğu yer sıcak duvarın alt bölgesinden 0,1 kadar değerinde en yüksektir ve yerel Nusselt sayısı yaklaşık olarak 17.75 civarındadır. Şekil 35'te köşe bölmesi yok iken brick

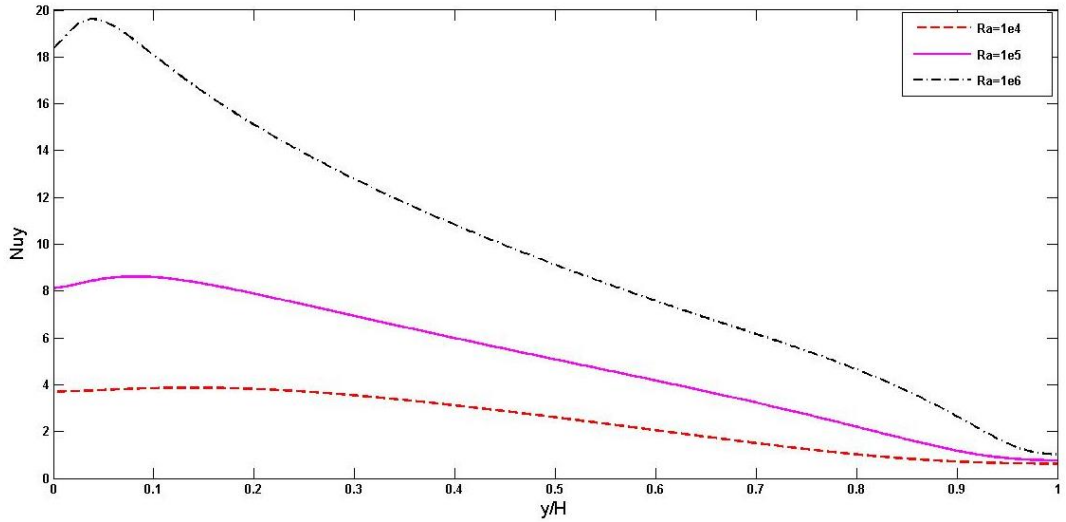
nanopartikülünün lokal Nusselt sayısı dağılımı verilmiştir. Yerel Nusselt sayısı yaklaşık olarak 18,5 civarındadır. Şekil 36'da ise köşe bölmesinin olmadığı durumunda silindirik nanopartikülü için Nusselt sayısı dağılımı gösterilmiştir ve en yüksek ısı transferi silindirik nanopartikülünde gerçekleşmiştir. Aynı hacim partikül oranında Şekil 34, 35 ve 36 birlikte değerlendirildiğinde ortalama ısı transferi ($Nu_{\text{silindirik}} > Nu_{\text{brick}} > Nu_{\text{küresel}}$) küresel nanopartikül şekli için en düşük, silindirik nanopartikül için en yüksek seviyededir.



Şekil 34. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, küresel nanopartikül)

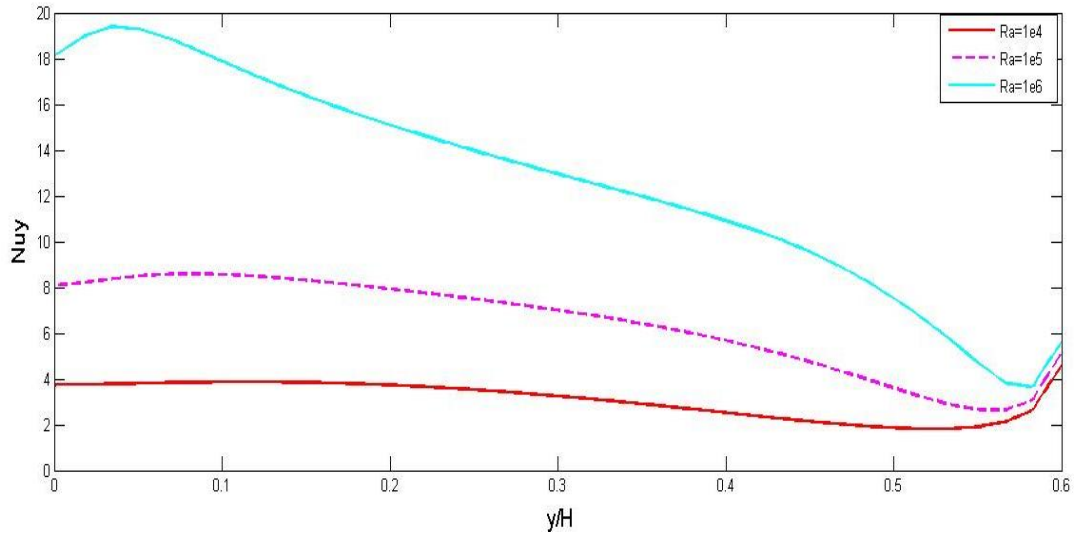


Şekil 35. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, brick nanopartikül)

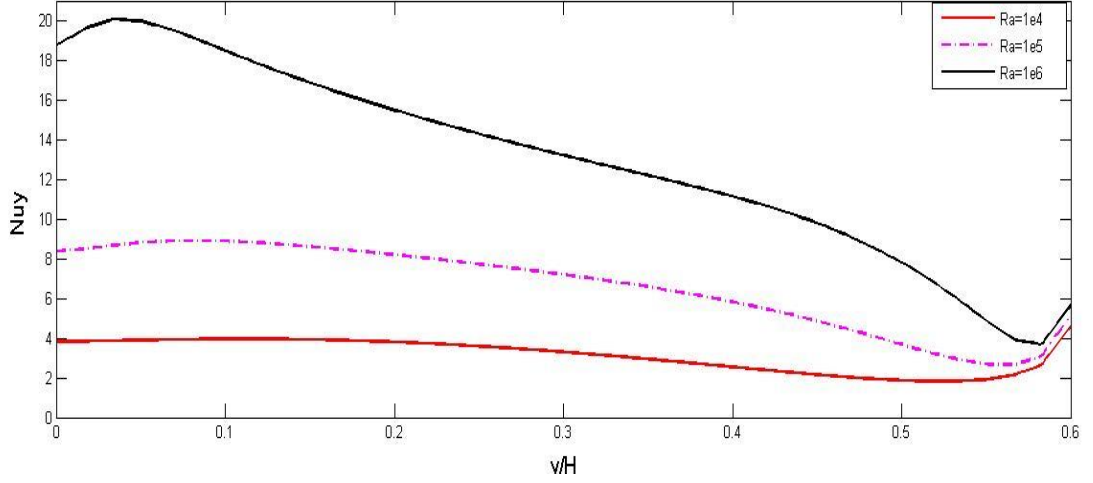


Şekil 36. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, silindirik nanopartikül)

Brick nanopartikülünün farklı Rayleigh sayılarının değerleri köşe bölmesinin $R=0,4$ olduğu ve partikül hacim oranının $\phi=0.02$ durumda sıcak duvar boyunca lokal Nusselt sayısının dağılımları Şekil 37’te gösterilmiştir. Şekil 38’de ise silindirik nanopartikülün farklı Rayleigh sayısının değerleri gösterilmiştir. Rayleigh değerleri arttıkça Nusselt sayısı artmıştır. Şekil 37 ve 38 karşılaştırıldığında en yüksek Nusselt sayısı silindirik nanopartikülde sağlanmıştır.

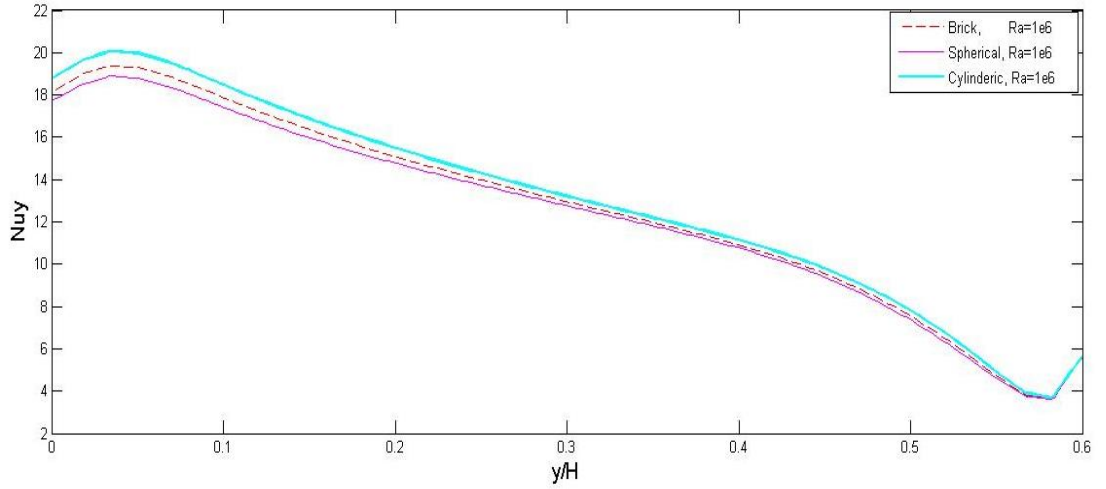


Şekil 37. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0,4$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, brick nanopartikül)



Şekil 38. Rayleigh sayılarının çeşitli değerleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0.4$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, silindirik nanopartikül)

Köşe bölmesinin $R=0,4$ olduğu durumda farklı nanopartikül şekillerinde, aynı partikül hacim oranında ve $Ra=10^6$ değerinde sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımı Şekil 39’da gösterilmiştir. En yüksek Nusselt sayısı yine silindirik nanopartikülünde elde edilmiştir.



Şekil 39. Çeşitli nanopartikül şekillerinde $Ra=10^6$ değeri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayısı dağılımları ($R = 0,4$, $Kr = 10$, $\phi = 0.02$, silindirik, küresel ve brick nanopartikül)

Küresel nanopartikülünün ele alındığı Tablo 7’de köşe bölmesinin olmadığı durumda farklı partikül hacim oranında ve Rayleigh değerlerinde ortalama Nusselt sayısı tablosu elde edilmiştir. Ortalama ısı transferi ($\phi=0$) ile ($\phi=0.04$) karşılaştırıldığında en yüksek Rayleigh sayısında %11.18 artmıştır.

Tablo 7. Köşe bölme yarıçapı $R = 0$ için Rayleigh sayısının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi (küresel, $Kr = 10$)

Ra	$\phi=0$	$\phi=0.04$
10^4	2.2422	2.5105
10^5	4.5185	5.0255
10^6	8.8294	9.8166

Köşe bölmesi yarıçapının farklı değerlerinde küresel nanopartikülünün ortalama Nusselt sayısının değişimi Tablo 8’de verilmiştir. İletken bölümün yarıçapının artırılması ortalama Nusselt sayısını arttırmıştır. $R=0$ ve $R=0,1$ yarıçapları en yüksek Rayleigh değerinde karşılaştırıldığında ortalama Nusselt sayısı %3.67 artmıştır. $R=0$ ile $R=0,4$ yarıçapları en yüksek Rayleigh değerinde karşılaştırıldığında %32,5 arttırmıştır. Tablo 8,9 ve 10 karşılaştırıldığında $R=0,4$ yarıçapında en yüksek Rayleigh değerinde silindirik nanopartikülü en yüksek değeri vermiştir.

Tablo 8. Çeşitli yarıçaplarda küresel nanopartikül Rayleigh sayısının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi (küresel, $Kr = 10$)

Ra	R0	R1	R2
10^4	2.3749	2.5145	3.0349
10^5	4.7681	4.9884	6.2472
10^6	9.3160	9.6585	12.3484

Köşe bölmesi yarıçapının farklı değerlerinde brick nanopartikülünün ortalama Nusselt sayısının değişimi Tablo 9’da verilmiştir. İletken bölümün yarıçapının artırılması ortalama Nusselt sayısını arttırmıştır. $R=0$ ve $R=0,1$ yarıçapları en yüksek Rayleigh değerinde karşılaştırıldığında ortalama Nusselt sayısı %3.72 artmıştır. $R=0$ ile $R=0,4$ yarıçapları en yüksek Rayleigh değerinde karşılaştırıldığında %32,8 arttırmıştır.

Tablo 9. Çeşitli yarıçaplarda tuğla nanopartikül Rayleigh sayısının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi (brick, $Kr = 10$)

Ra	R0	R1	R2
10^4	2.4007	2.5411	3.0722
10^5	4.8562	5.0795	6.3914
10^6	9.4886	9.8420	12.6066

Köşe bölmesi yarıçapının farklı değerlerinde silindirik nanopartikülünün ortalama Nusselt sayısının değişimi Tablo 10’da verilmiştir. İletken bölümün yarıçapının artırılması ortalama Nusselt sayısını arttırmıştır. $R=0$ ve $R=0,1$ yarıçapları en yüksek Rayleigh değerinde karşılaştırıldığında ortalama Nusselt sayısı

%3.77 artmıştır. $R=0$ ile $R=0,4$ yarıçapları en yüksek Rayleigh değerinde karşılaştırıldığında %33.40 arttırmıştır.

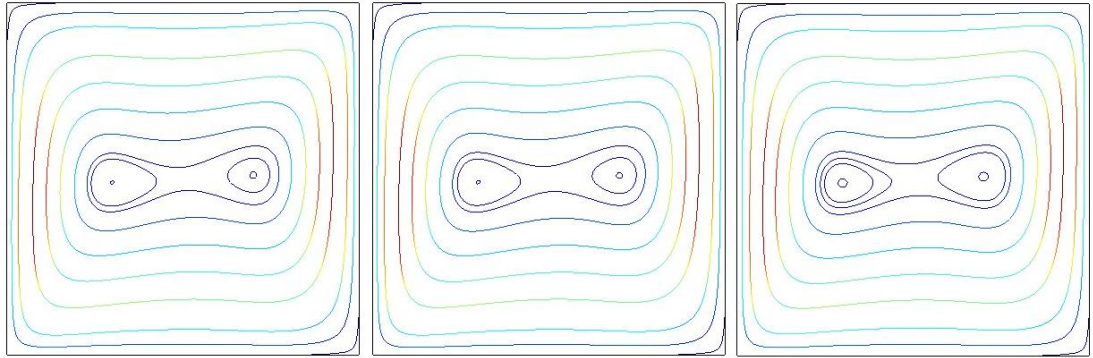
Tablo 10. Çeşitli yarıçaplarda silindirik nanopartikül Rayleigh sayısının ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi (silindirik, $Kr = 10$)

Ra	R0	R1	R2
10^4	2.4362	2.5780	3.1211
10^5	4.9721	5.1990	6.5846
10^6	9.7126	10.0794	12.9568

5.3.2. Nanopartikül Hacim Oranı Etkisi

5.3.2.1. Eş Akış ve Eş Sıcaklık Eğrileri

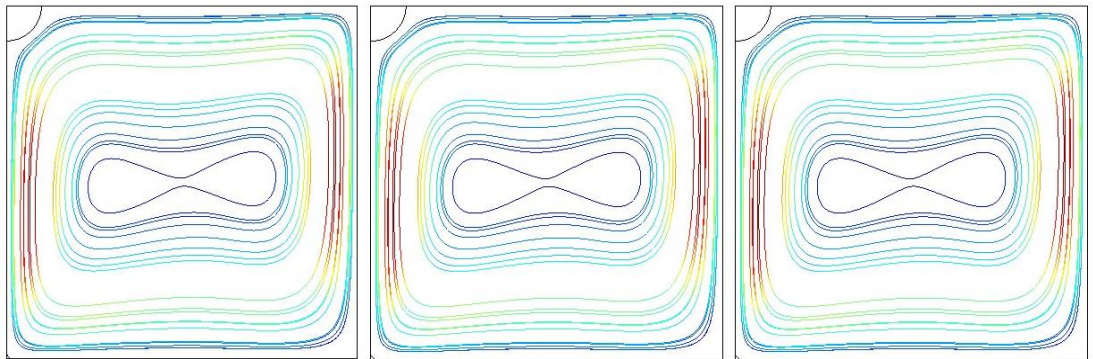
Şekil 40 ve 41’de küresel nanopartikülü içeren nanoakışkanın çeşitli partikül hacim oranlarında eş akış ve eş sıcaklık eğrilerinin değişimleri gösterilmiştir. Eş akış ve sıcaklık eğrilerinde partikül hacim oranının artması göz ile görülür bir değişikliğe neden olmamıştır ancak ısıl iletkenliğin artmasından dolayı akışkan hızı artmış ve eş akış fonksiyonunun maksimum değerinde artış meydana gelmiştir.



a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

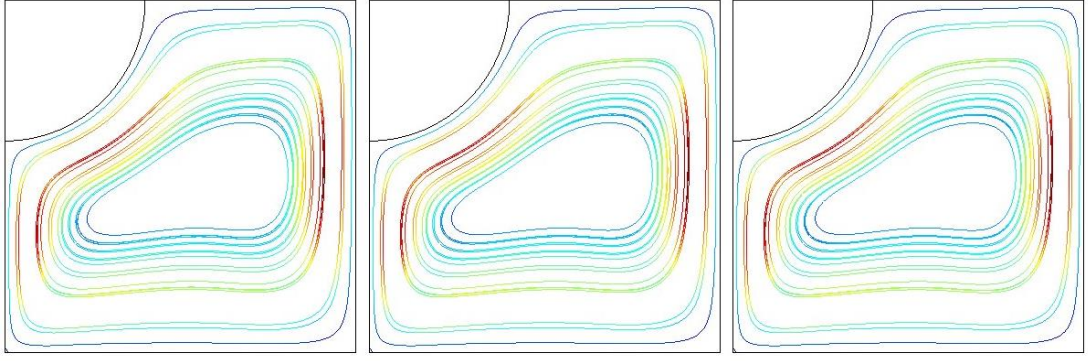
c) $\phi = 0.04$



a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

c) $\phi = 0.04$

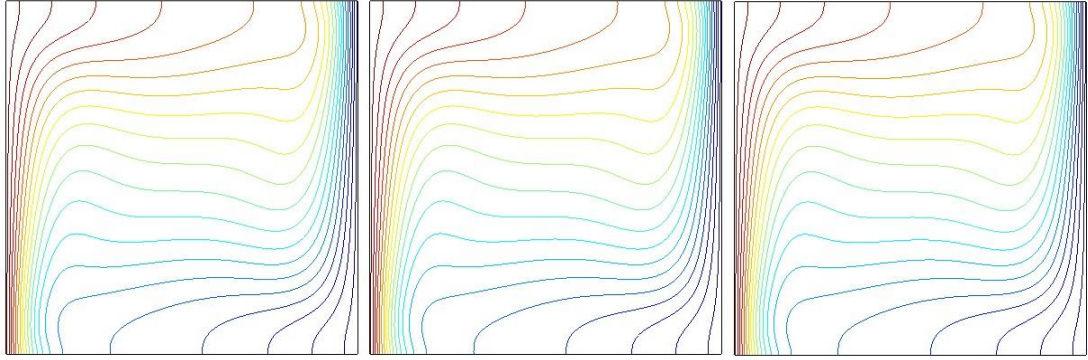


a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

c) $\phi = 0.04$

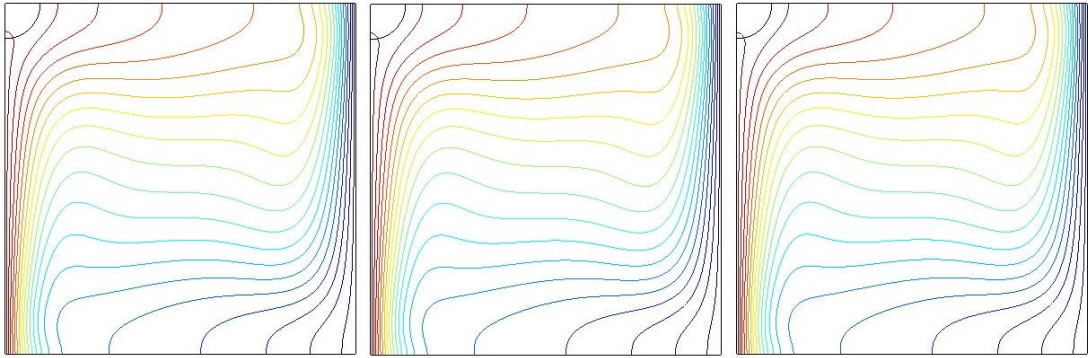
Şekil 40. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için nanopartikül hacim oranının eş akış dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $Ra=10^5$, küresel nanopartikül)



a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

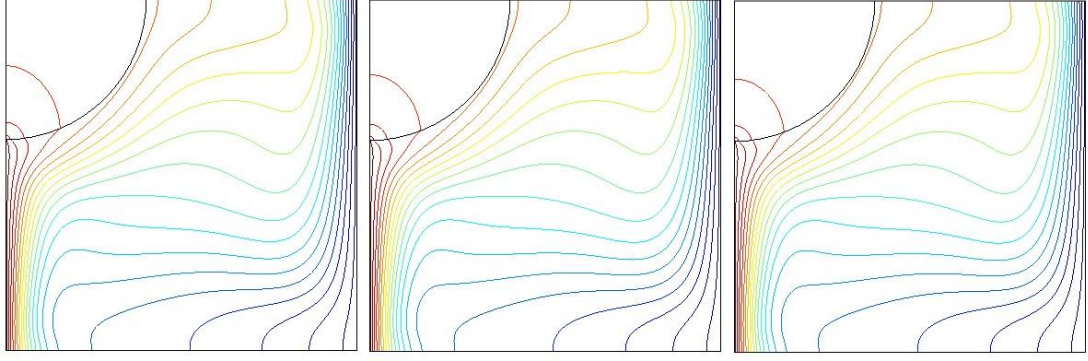
c) $\phi = 0.04$



a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

c) $\phi = 0.04$



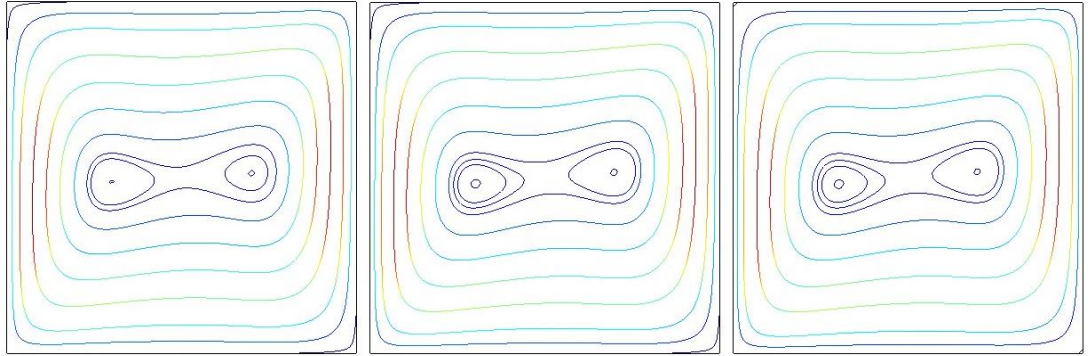
a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

c) $\phi = 0.04$

Şekil 41. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için nanopartikül hacim oranının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $Ra=10^5$, küresel nanopartikül)

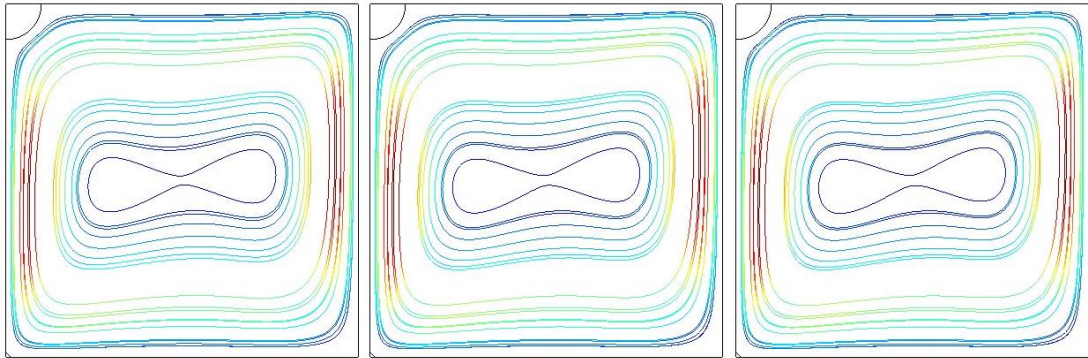
Şekil 42 ve 43'te silindirik nanopartikül içeren nanoakışkanın çeşitli partikül hacim oranı değerlerinde eş akış ve eş sıcaklık eğrilerinin değişimleri gösterilmiştir. Aynı şekilde eş akış ve sıcaklık eğrilerinde partikül hacim oranının artması göz ile görülür bir değişikliğe neden olmamıştır ama aynı koşullarda küresel nanopartikül içeren duruma göre eş akış fonksiyonunun maksimum değerinde artış meydana gelmiştir.



a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

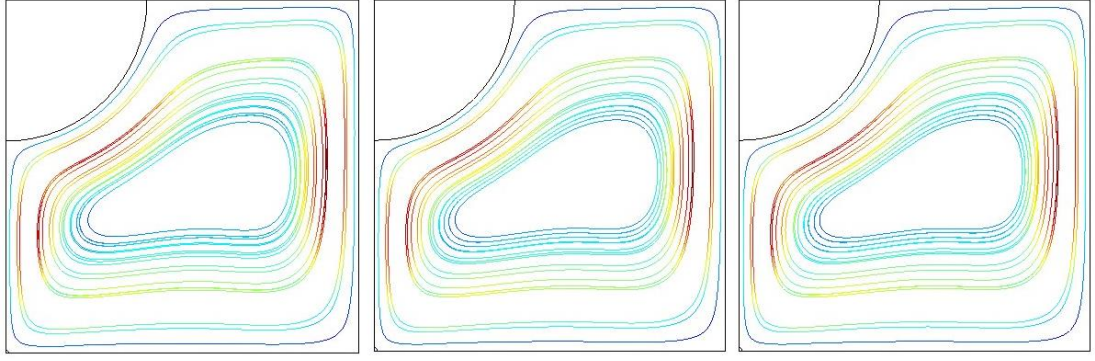
c) $\phi = 0.04$



a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

c) $\phi = 0.04$

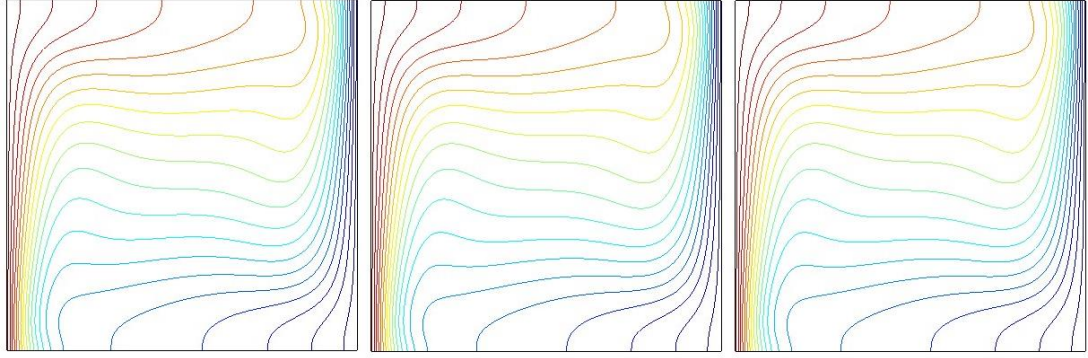


a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

c) $\phi = 0.04$

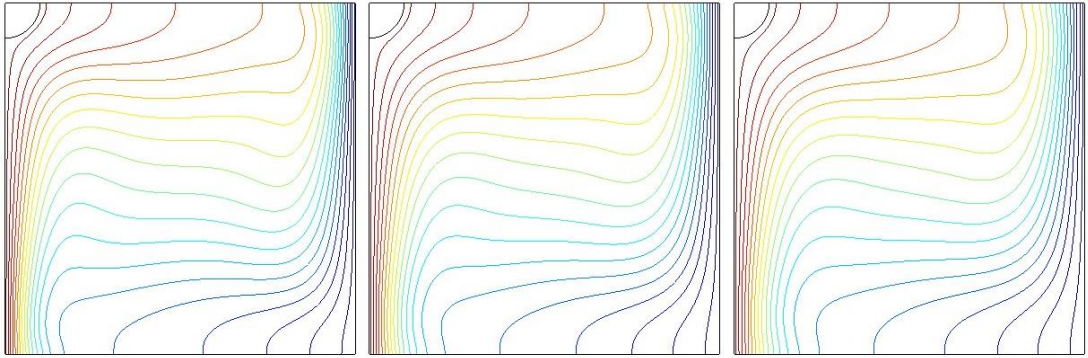
Şekil 42. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için nanopartikül hacim oranının eş akış dağılımına etkisi ($Kr= 10$, $Ra=10^5$, silindirik nanopartikül)



a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

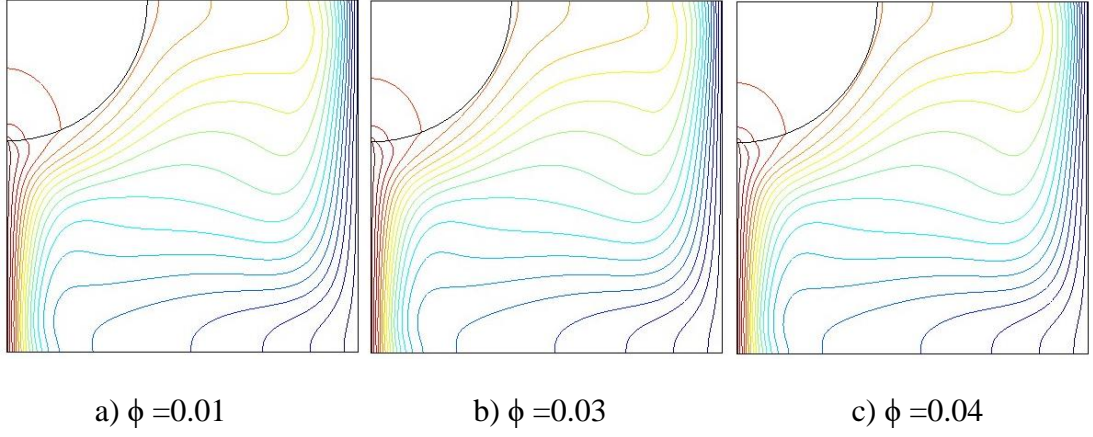
c) $\phi = 0.04$



a) $\phi = 0.01$

b) $\phi = 0.03$

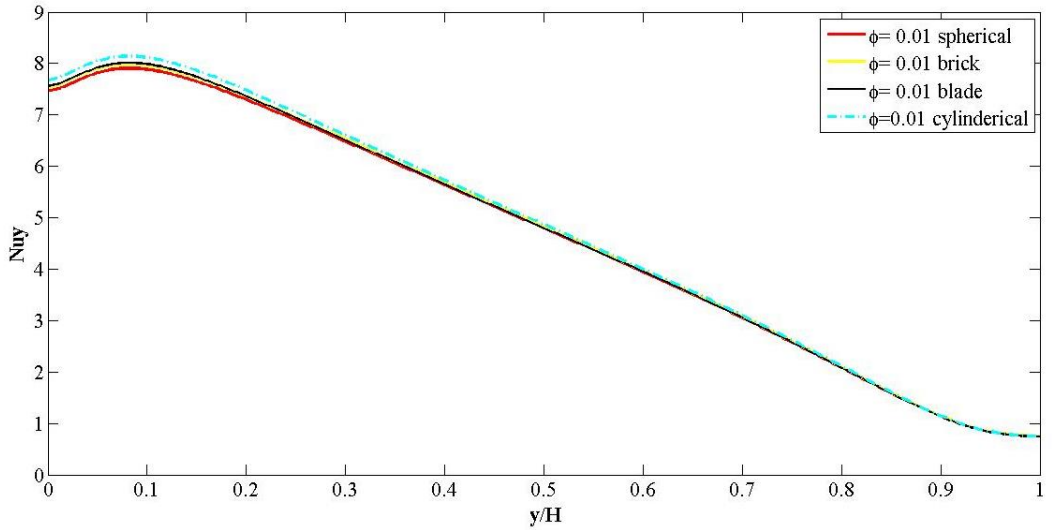
c) $\phi = 0.04$



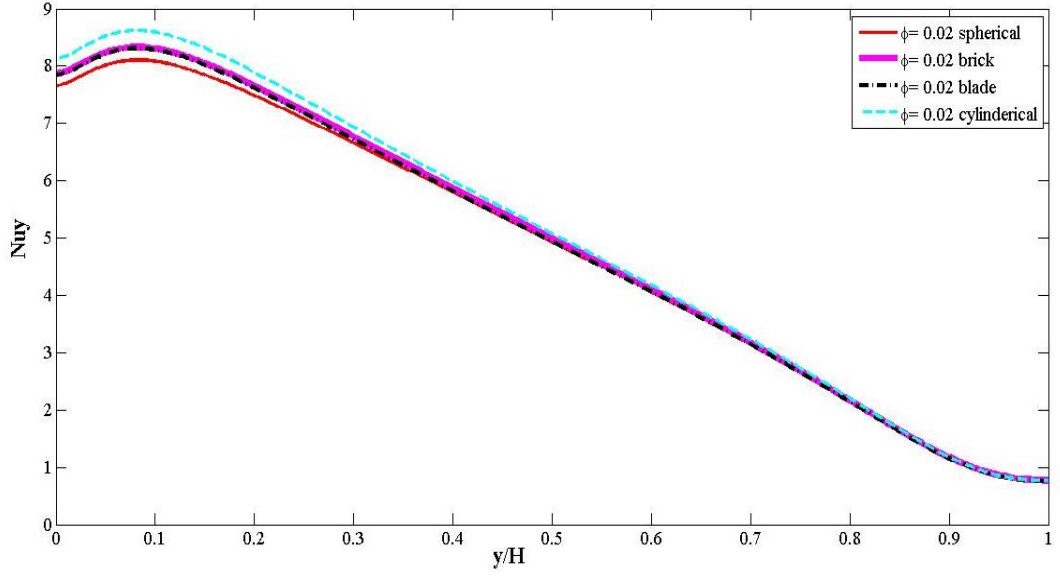
Şekil 43. Köşe bölmesinin çeşitli yarıçapları için nanopartikül hacim oranının eş sıcaklık dağılımına etkisi ($Kr=10$, $Ra=10^5$, silindirik nanopartikül)

5.3.2.2. Lokal ve Ortalama Isı Transferine Etkisi

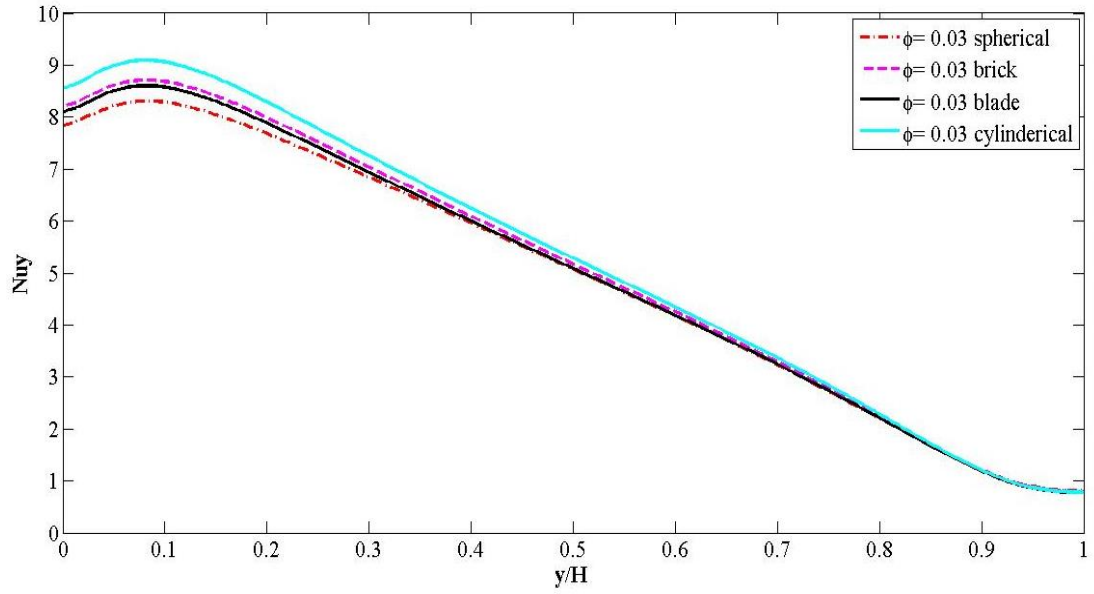
Aşağıda aynı hacim partikül oranı çeşitli nanopartikül şekillerine göre lokal Nusselt sayısı dağılımları incelenmiştir. Köşe bölmesi olmadığı durumda Şekil 44, 45, 46 ve 47 birlikte incelendiğinde en yüksek Nusselt değeri silindirik nanopartikülünde elde edilmiştir. Partikül hacim oranı arttıkça lokal Nusselt sayısı değeri artmıştır.



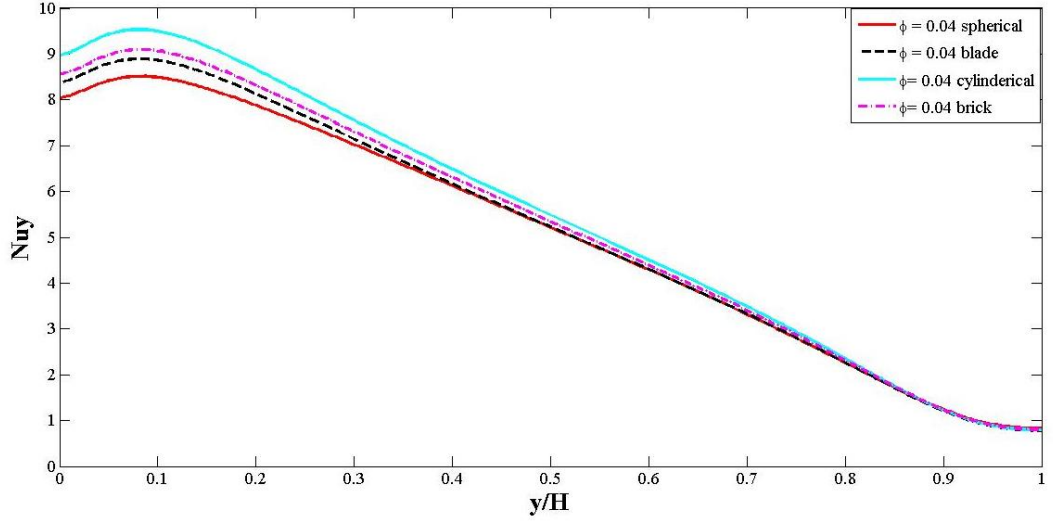
Şekil 44. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R=0$, $Kr=10$)



Şekil 45. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R=0$, $Kr=10$, $Ra=10^5$)

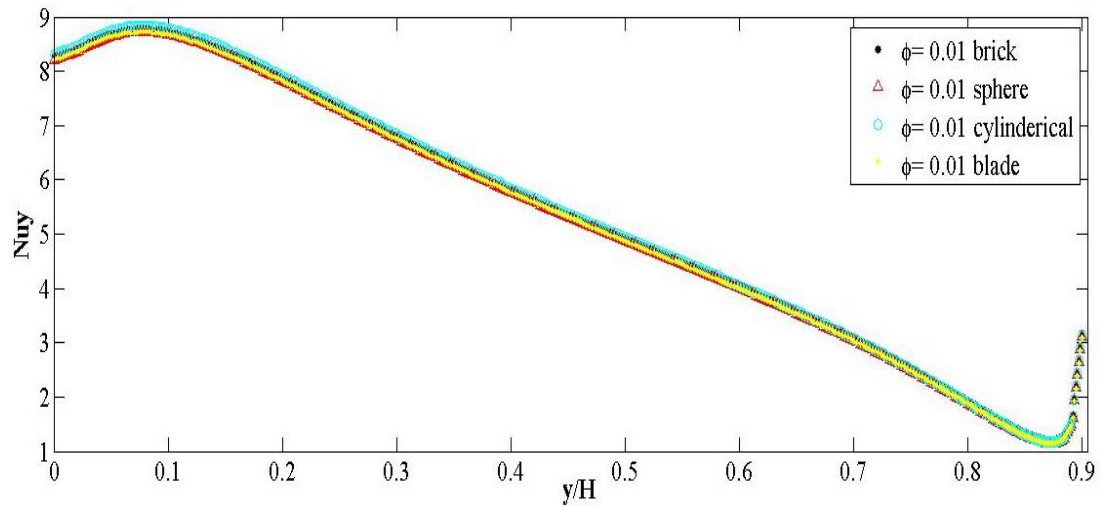


Şekil 46. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R=0$, $Kr=10$)

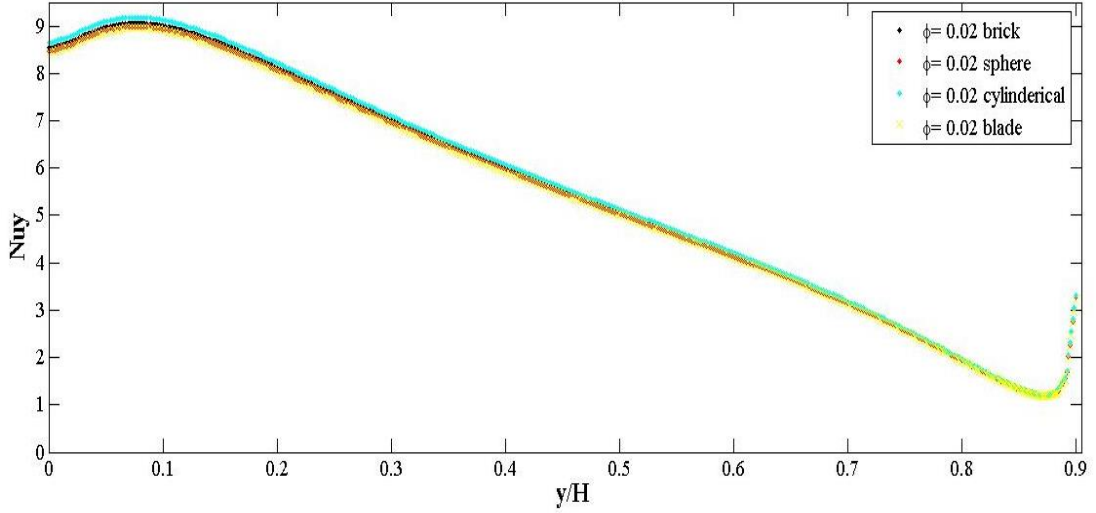


Şekil 47. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0$, $Kr = 10$)

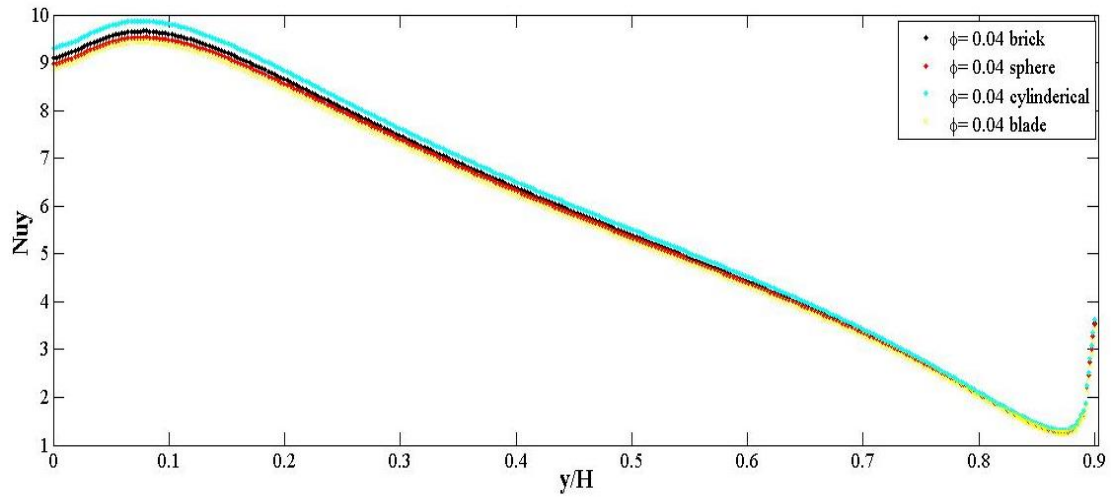
Şekil 48, 49 ve 50 birlikte incelendiğinde köşe bölmesi eklendiği durumda ($R=0,1$) partikül hacim oranı arttıkça yine Nusselt sayısının arttığı ve en yüksek Nusselt sayısının silindirik nanoparçacık şeklinde elde edildiği görülmektedir. Köşe bölmesi olmadığı durumda (Şekil 44) ile köşe bölmesi $R=0,1$ olduğu durum (Şekil 48) karşılaştırıldığında, köşe bölmesinin eklenmesi ile yerel Nusselt sayısının pik değerinin arttığı gözlemlenmiş ve köşe bölmesinin Nusselt sayısını arttırdığı tespit edilmiştir. Köşe bölmesinin olmadığı ve $\phi= 0.04$ olduğu durum (Şekil 47) ve eklendiği durum (Şekil 50) karşılaştırıldığında silindirik nanoparçacıkta Nusselt sayısının yaklaşık olarak 9'dan 9,3 civarına yükseldiği, küresel nanoparçacığın yaklaşık olarak 8'den 9 civarına yükseldiği görülmektedir. Köşe bölmesinin eklenmesinin Nusselt sayısını arttırmada önemli bir faktör olduğu görülmektedir.



Şekil 48. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R= 0,1$, $Kr = 10$)

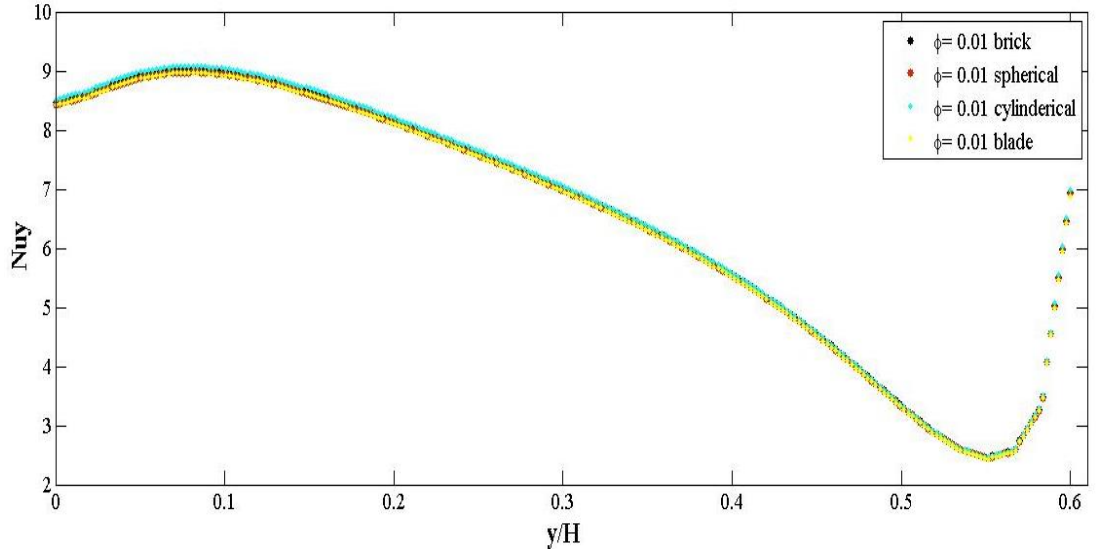


Şekil 49. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R=0,1$, $Kr=10$)

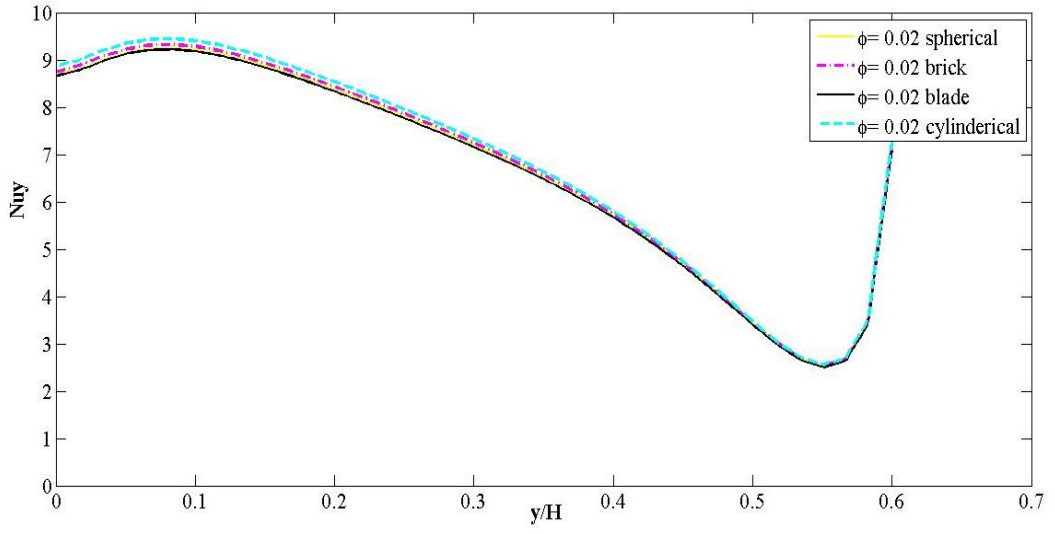


Şekil 50. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R=0,1$, $Kr=10$)

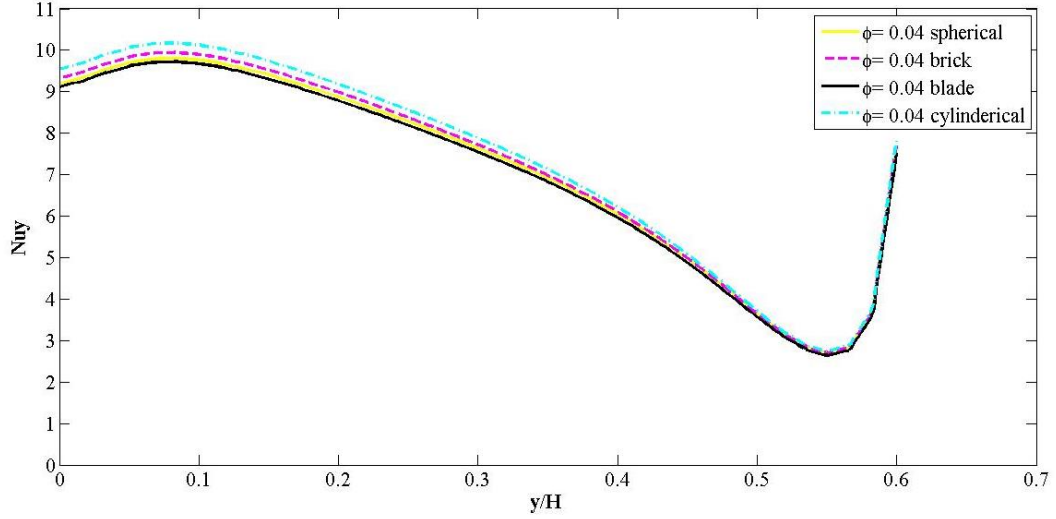
Şekil 51, 52 ve 53 birlikte incelendiğinde köşe bölgesi $R=0,4$ olduğu durumda partikül hacim oranı arttıkça Nusselt sayısı artmıştır. Benzer şekilde silindirik şekline sahip nanopartikülün Nusselt değeri en yüksektir. Köşe bölgesinin olmadığı durum (Şekil 44) ile köşe bölgesinin $R=0,4$ olduğu durum (Şekil 51) karşılaştırıldığında silindirik nanopartikülü yaklaşık 7,8 den 8,5 civarına yükseldiği görülmektedir. Köşe bölgesinin $R=0,1$ olduğu durum (Şekil 48) ile köşe bölgesinin $R=0,4$ olduğu durum (Şekil 51) karşılaştırıldığında silindirik nanopartikülün yaklaşık olarak 8,3'den 8,5 civarına yükseldiği görülmektedir. Bu durumda köşe bölgesinin artırılması Nusselt sayısının artmasını sağlamaktadır.



Şekil 51. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R=0,4$, $Kr=10$)



Şekil 52. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R=0.4$, $Kr=10$)



Şekil 53. Çeşitli nanoparçacık şekilleri için sıcak duvar boyunca yerel Nusselt sayı dağılımları ($R=0.4$, $Kr=10$)

Aşağıda ortalama Nusselt sayısının artışları, farklı nanopartikül şekillerine, farklı köşe bölmesi değerlerine ve partikül hacim oranlarına göre tablolar halinde verilmiştir. Köşe bölmesinin olmadığı durumda nanopartikül hacim oranının partikül şekline göre değişimi Tablo 11’de gösterilmiştir. Tablo genel olarak incelendiğinde hacim oranı arttıkça Nusselt sayısının arttığı görülmektedir. Küresel nanopartikül şekli ile ($\phi=0.04$) silindirik nanopartikül şekli ($\phi=0.04$) karşılaştırıldığında, ortalama Nusselt sayısı %7,8 artmıştır. Küresel nanopartikül şekli $\phi=0.01$ ’den $\phi=0.04$ ’e artırıldığında Nusselt sayısı %8,25 artmıştır, aynı durumda silindirik nanopartikülde ise %14,3 artmıştır. En yüksek nanopartikül hacimsel oranı içeren durum sadece su içeren durum ile kıyaslandığında, silindirik nanopartikül tipi için Nusselt sayısı %19,85, blade nanopartikülü için %13,3 ve brick nanopartikülü tipi için %15,9 artmıştır. Köşe bölmesi $R=0,1$ iken değişen nanopartikül hacim oranı ile nanopartikül şekli ile elde edilen Nusselt sayısının değişimi Tablo 12’de gösterilmiştir. En yüksek sonuçlar silindirik nanopartikülünde en düşük sonuçlar küresel nanopartikülünde elde edilmiştir. Silindirik nanopartikül şeklinde hacim kesri $\phi=0.01$ ’den $\phi=0.04$ ’e artırıldığında %11,5 artmıştır. Aynı değerlerde küresel nanopartikülü %9,2, blade nanopartikülü %8,1 ve brick nanopartikülü %9,9 artmıştır. Tablo 11 (köşe bölmesinin olmadığı durum) ile Tablo 12’de (köşe bölmeli, $R=0.1$) silindirik tipli nanopartikül içeren durumda, en yüksek partikül hacimsel oranı olan $\phi=0.04$ ile karşılaştırdığımızda köşe bölmesinin kullanılması ile ortalama ısı transferi %4,7 artmıştır. Köşe bölmesinin $R=0,4$ olduğu durumda değişen nanopartikül hacim kesri ile nanopartikül şekillerine göre Nusselt değerleri Tablo 13’de verilmiştir. Küresel nanopartikülünde hacim kesri $\phi=0.01$ ’den $\phi=0.04$ ’e yükseldiğinde Nusselt değeri %9,3 blade nanopartikülü %8,2 brick nanopartikülü %10 ve silindirik nanopartikülü %11,7 artmıştır.

Köşe bölmesinin olmadığı durum (Tablo 11) ile köşe bölmesinin $R=0.4$ olduğu durum (Tablo 13) karşılaştırıldığında, silindirik partikül içeren nanoakışkan

durumda köşe bölmesinin kullanılması ile $\phi=0.01$ 'de ortalama ısı transferi %38, ve $\phi=0.04$ ise %34.95 artmıştır.

Tablo 11. Nanopartikül katı hacim oranının ve nanoparçacık şekillerinin $R = 0$ köşe bölme yarıçapı için ($Ra = 10^5$, $Kr = 10$) ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkileri,

ϕ	Spherical	Blade	Brick	Cylindrical
0	4.5185	4.5185	4.5185	4.5185
0.01	4.6423	4.6715	4.6769	4.7376
0.02	4.7681	4.8236	4.8562	4.9721
0.03	4.8958	4.9737	5.0466	5.2001
0.04	5.0255	5.1215	5.2388	5.4158

Tablo 12. Nanopartikül katı hacim oranının ve nanoparçacık şekillerinin $R = 0.1$ köşe bölme yarıçapı için ($Ra = 10^5$, $Kr = 10$) ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkileri,

Phi	Spherical	Blade	Brick	Cylindrical
0	4.8908	4.8908	4.8908	4.8908
0.01	5.0398	5.0268	5.0574	5.0869
0.02	5.1919	5.1628	5.2246	5.2831
0.03	5.3471	5.2987	5.3919	5.4792
0.04	5.5055	5.4346	5.5592	5.6749

Tablo 13. Nanopartikül katı hacim oranının ve nanoparçacık şekillerinin $R = 0.4$ köşe bölme yarıçapı için ($Ra = 10^5$, $Kr = 10$) ortalama Nusselt sayısı üzerindeki etkileri,

Phi	Spherical	Blade	Brick	Cylindrical
0	6.2841	6.2841	6.2841	6.2841
0.01	6.4778	6.4623	6.5014	6.5409
0.02	6.6755	6.6403	6.7200	6.7980
0.03	6.8772	6.8180	6.9390	7.0540
0.04	7.0830	6.9954	7.1578	7.3088

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nanoakışkanlarla dolu bir köşe bölmeli boşlukta doğal taşınım için sayısal simülasyon sonuçları aşağıda verilmiştir. Kavite içerisine köşe bölmesi eklenerek doğal taşınım ile analiz edilmiş olan çalışmada SiO_2 -Su nanoakışkanı küresel, silindirik, brick ve blade partikül şekillerinde kullanılmıştır ve incelenen literatürlerde benzer bir çalışma yoktur.

- Akış ve termal alanlar, iletken bölümün ve farklı nanopartikül şekillerinin varlığından etkilenmiştir.
- Rayleigh sayısının değeri ve köşe bölümünün boyutu arttıkça ortalama ısı transferi artmıştır.
- Rayleigh sayısı arttıkça konveksiyon ve hücre çekirdekleri artmakta, akış şekillerinin düzeni bozulmaktadır.
- Rayleigh sayısının sıcaklığa etkisi simülasyon sonuçlarına göre, akış çizgileri paralelleşmektedir.
- Nanopartiküllerin hacim oranı arttıkça ısı transferi artmıştır.
- Rayleigh sayısının en yüksek değerinde köşe bölmesi $R=0,4$ 'de ortalama Nusselt sayısındaki en yüksek değerler silindirik nanopartikül kullanıldığında elde edilmiştir.
- Rayleigh sayısının ve partikül hacimsel oranının en yüksek değerlerinde ortalama Nusselt sayısı, köşe bölmesinin eklenmesi ile ($R=0$ ile $R=0,4$) küresel nanopartikülü %32,5, brick nanopartikülü %32,8 ve silindirik nanopartikülü için %33,4 artmıştır.
- En yüksek nanopartikül hacim oranında küresel tip, blade tip, brick tip ve silindirik tipte nanopartiküller için $R=0$, $R=0,4$ 'e yükseldiğinde ortalama Nusselt sayısı yaklaşık olarak %40, %36,5, %36,6 ve %35 artmıştır.
- Çalışmada en yüksek sonuçlar silindirik nanopartikül şeklinde gerçekleşmiş ve en yüksek Nusselt değerleri $Nu_{\text{silindirik}} > Nu_{\text{brick}} > Nu_{\text{blade}} > Nu_{\text{küresel}}$ olmaktadır. İncelenen diğer makaleler ve çalışmalar ile bu sonuçlar örtüşmektedir.
- Bu çalışmada brick, blade, silindirik ve küresel nanopartikül şekline sahip SiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılmıştır. Günümüz teknolojisinin artan öneminden dolayı yeni sistemler gelişmekte ve nanopartikül kullanımı vazgeçilmez bir unsur haline gelmektedir. Bu sistemleri ve cihazları

tasarlarken maliyet önemli bir unsur olmaktadır. Sistemlerde kullanılan SiO₂ nanopartikülü ucuzdur ve ticari olarak fazlasıyla öneme sahip nanopartiküllerdendir.

- Nanopartiküllerin üretiminde en sık kullanılan yöntemler, gaz yoğuşturulması, mekanik aşındırma ve kimyasal çöktürme gibi yöntemlerdir. Nanopartiküllerin üretim yöntemleri maliyeti fazlasıyla etkilemektedir. Bu maliyetlerin optimum düzeye indirgenmesi gerekmektedir.
- Bu çalışmanın sonuçları, bir kavitede doğal taşınım ısı transfer mekanizmasına indirgenecek birçok termal mühendislik uygulamasında (elektronik ekipmanların soğutulması, güneş kolektörleri, kurutma, bazı kimyasal prosesler vb.) kullanılabilir. Çalışmanın sonuçları bu sistemlerde etkili ısı transferini sağlamak için uygun parametrik kombinasyonların belirlenmesinde yardımcı olacaktır.

6.1 Elde Edilen Sonuçların Literatürler ile Kıyaslanması

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatürde verilenler ile kıyaslanarak ısı transferine olan etkilerini görmek amacıyla aşağıda tablo şeklinde açıklanmıştır. Tabloda doğal taşınımın ısı transferine etkisi, doğal taşınım ve nanoakışkanların birlikte incelendiği çalışmalar ve nanopartikül şekil etkisinin ısı transferine etkilerinin incelendiği çalışmalar tez çalışması ile kıyaslanarak gösterilmiştir.

Tablo 14. Elde edilen sonuçların literatürler ile kıyaslanması

Literatür Çalışması	Partikül Tipi	Literatür Çalışması Sonuçları	Tez Çalışması Sonuçları
Shahrul ve ark. Etilen glikol ve bohemit alümina karışıklı nanoakışkan kullanmıştır.[98]	Silindirik Brick Blade	Isı transferi sırasıyla %28,23, %23, %18 artmıştır.	Isı transferi SiO ₂ nanopartikülü kullanılarak %19,85 %16, %13,3 artmıştır.
Karimzadehkhoei ve ark. TiO ₂ ve CuO nanopartikülü kullanarak ısı transfer artışını incelemişlerdir.[99]	Küresel	Isı transferi TiO ₂ %15, CuO %36 artmıştır.	Isı transferi SiO ₂ nanopartikülü kullanılarak en yüksek %32.55 artmıştır
Mahbubul ve ark. Bohemit alümina nanoakışkanın kullanarak nanopartikül şekillerinin performansını gövde-	Silindirik Brick Blade Küresel Plate	En iyi ısı transfer performansını silindirik partikül şeklinde ve sırasıyla brick, blade, plate ve küresel şeklindeki	Bu tez çalışmasında da en iyi sonuçlar silindirik nanopartikülünde elde edilmiştir ve sırasıyla brick, blade

<p>boru tip ısı değiştiricide incelemişlerdir [100].</p>		<p>partiküllerde bulmuşlardır.</p>	<p>ve küresel partikül Şekil sonuçları elde edilmiştir.</p>
<p>Vanaki ve ark. İki farklı nanoakışkan olan SiO₂-EG SiO₂-suyu dalga kanalı Şeklindeki bir modelde nanopartikül Şekil etkisinin ısı transferine etkisini zorlanmış taşınım ile incelemişlerdir [101].</p>	<p>Blade Brick Silindirik Küresel</p>	<p>SiO₂-Su nanoakışkanının saf suya kıyasla Nusselt sayısını en yüksek değerlerde bulmuşlardır ve Re sayısı arttıkça Nusselt sayısı artmıştır. SiO₂-EG nanoakışkanında ise Nusselt sayısını sırasıyla silindirik, brick, blade ve küresel olarak bulmuşlardır.</p>	<p>Bu tez çalışmasında kare köşe bölmeli bir muhafaza içinde SiO₂-Su nanoakışkanı doğal taşınım ile incelenmiştir ve sonuç olarak en yüksek Nu sayısı silindirik, brick, blade ve küresel olarak bulunmuştur.</p>
<p>Santra ve ark. Cu-Su nanoakışkanı kullanarak ısı transfer artışını incelemişlerdir [79].</p>	<p>-</p>	<p>Ra=10⁷ iken Nu sayısı %38.3 Ra=10⁷ iken Nu sayısı %32.8 artmıştır.</p>	<p>Ra=10⁶ iken Nu sayısı en yüksek silindirik nanopartikülünde %33.4 artmıştır.</p>
<p>Khanafer ve ark. iki boyutlu muhafaza içerisinde Cu-Su nanoakışkanının ısı transferini incelemişlerdir [4].</p>	<p>-</p>	<p>Nusselt sayısı %25 artmıştır.</p>	<p>Köşe bölmeli R=0 iken Nusselt sayısı %19 artmıştır.</p>
<p>Teamah ve ark. kare kavite içerisinde Al₂O₃, Cu ve TiO₂ nanopartiküllerini kullanarak nanoakışkanları doğal konveksiyon ile sayısal olarak incelemişlerdir [6].</p>	<p>-</p>	<p>Ra sayısının 10³ ve 10⁵ değeri arasında en yüksek Nusselt sayısının %15 arttığını bulmuşlardır.</p>	<p>Köşe bölmeli R=0 iken Nusselt sayısı %19 artmıştır.</p>
<p>Sheikhzadeh ve ark. kare muhafaza içerisinde Cu-Su nanoakışkanı kullanarak doğal taşınım ile ısı transferini</p>	<p>-</p>	<p>Ra=10⁵ ve Ra=10⁶ arasında Nusselt sayısının maksimum olduğunu bulmuşlardır.</p>	<p>Bu tez çalışmasında da Ra sayısı 10⁶ iken Nusselt sayısı en yüksektir.</p>

incelemişlerdir [82].			
Raji ve ark. dikdörtgen muhafaza içinde ısı transferini doğal taşınım ile incelemişler [22].	-	Ra sayısı arttıkça Nusselt sayısının arttığını tespit etmişlerdir.	Bu tez çalışmasında da Ra sayısı arttıkça Nu sayısı artmıştır.
Alshuraiaan ve ark. ısıtılmış boşlukta ısı transferine etkisini doğal taşınım ile incelemişlerdir [27].	-	Ra sayısı arttıkça Nu sayısının arttığını bulmuşlardır.	Bu tez çalışmasında da Ra sayısı arttıkça Nu sayısı artmıştır.
Jou ve Tzeng kapalı dikdörtgen bir ortamda doğal konveksiyon ile incelemişlerdir [102].	-	Ortalama Nusselt sayısının arttığını tespit etmişlerdir.	Tüm analizlerin değişen her sonucunda Nusselt sayısı artmıştır.

Yukarıdaki kıyaslama tablosunda en yüksek sonuçların silindirik nanopartiküllerde bulunmasının nedeni silindirik nanopartiküller, diğer partikül şekillerine kıyasla termofiziksel özellikleri daha iyi etkilemektedir. Tez çalışmasında SiO₂-Su nanoakışkanı kullanılarak kare kavite içerisinde köşe bölmesi eklenerek doğal taşınım ile analiz yapılmış ve kıyaslama için incelenen literatürlerde iletken köşe bölmesi bulunan nanoakışkan olarak SiO₂-Su nanoakışkan içeren doğal taşınım ile ısı transfer incelemesinin bir arada yapıldığı çalışma yoktur. Bu nedenle tabloda sadece doğal taşınım, doğal taşınım ve nanoakışkan kullanılan fiziksel modeller, SiO₂-Su kullanılmış olan kare kavite ve doğal taşınım içermeyen çalışmalar tek tek gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1]Ghalambaz,M., Jamesahar, E., Ismael, A.M., Chamkha, A.J. Fluid-structure interaction study of natural convection heat transfer over a flexible oscillating fin in a square cavity. *International Journal of Thermal Sciences*. 2017, 111, 256-273
- [2]Khatamifar, M., Lin, W., Armfield, S.W., Holmes, D., Kirkpatrick, M.P. Conjugate natural convection heat transfer in a partitioned differentially-heated square cavity. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2017, 81,92-103.
- [3]Khanafar, K., Alamiri, A., Bull, J. Laminar natural convection heat transfer in a differentially heated cavity with a thin porous fin attached to the hot Wall. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015, 87, 59-70.
- [4]Khanafar, K., Vafai K., Lightstone, M. Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2003, 46, 3639-3653.
- [5]Fontes, H.D., Santos, D.D., Padilla, E.L.M., Filho, E.P.B. Two numerical modelings of free convection heat transfer using nanofluids inside a square enclosure. *Mechanics Research Communications*. 2015, 66, 34-43.
- [6]Teamah, M.A., El-Maghlany, W.M. Augmentation of natural convective heat transfer in square cavity by utilizing nanofluids in the presence of magnetic field and uniform heat generation/absorption. *International Journal of Thermal Sciences*. 2012, 58, 130-142.
- [7]Chamkha A.J, Abu-Nada E. Effect of nanofluid variable properties on natural convection in enclosures filled with a CuO-EG-Water nanofluid. *International Journal of Thermal Sciences*. 2010, 49, 2339-2352.
- [8]Ghasemi B., Aminossdati S. M. Natural convection cooling of a localised heat source at the bottom of a nanofluid-filled enclosure. *European Journal of Mechanics B/Fluids*. 2009, 28, 630,640.
- [9]Öztop H.F., Abu-Nada E. Effects of inclination angle on natural convection in enclosures filled with Cu-water nanofluid. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2009, 30, 669-678.
- [10]Sheremet, M.A ., Öztop, H,F., Pop L., Abu-Hamdeh, N. Analysis of Entropy Generation in Natural Convection of Nanofluid inside a Square Cavity Having Hot Solid Block: Tiwari and Das' Model. *Entropy*. 2015
- [11]Nikfar, M., Mahmoodi, M., Meshless local Petrov–Galerkin analysis of free convection of nanofluid in a cavity with wavy side walls. *Engineering Analysis with Boundary Elements*. 2012, 36, 433-445.

- [12]Mahmoudi, A. H., Shahi, M., Raouf, A. H., Ghasemian, A., Numerical study of natural convection cooling of horizontal heat source mounted in a square cavity filled with nanofluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2010, 37, 1135-1141.
- [13] Nandy, P., Roetzel, W., Das, S. K., Natural convection of nanofluids, *Heat and Mass Transfer*. 2003, 39, 775–784.
- [14] Khorasanizadeh, H., Amani, J., Nikfar, M., Numerical investigation of Cu-water nanofluid natural convection and entropy generation within a cavity with an embedded conductive baffle. *Scientia Iranica*. 2012, 19(6), 1996-2003.
- [15] Arefmanesh, A., Amini, M., Mahmoodi, M., Najafi, M., Buoyancy-driven heat transfer analysis in two-square duct annuli filled with a nanofluid. *European Journal of Mechanics - B/Fluids*. 2012, 33, 95-104.
- [16]Çengel, Y., A., *Isı ve Kütle Transferi- Pratik Bir Yaklaşım*, Ed: Vedat Tanyıldızı, İzmir Güven Kitapevi, İzmir, Türkiye, 2011, 25 s.
- [17]Incropera P. F., DeWitt P. F., *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 2006, 518-520 s.
- [18]Incropera P. F., DeWitt P. F., *Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri*, Literatür Yayıncılık, İstanbul, Türkiye, 2006, 548-552 s.
- [19]Das, S. K., Choi, S.U.S., Yu, W., Pradeep, T. *Nanofluids Science and Technology*. John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, Canada, 216-217 s.
- [20]Sivaraj,C., Sheremet,M.A. MHD natural convection in an inclined square porous cavity with a heat conducting solid block. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2017,426, 351-360.
- [21]Rabhi, M., Bouali, H., Mezrhab, A. Radiation–natural convection heat transfer in inclined rectangular enclosures with multiple partitions. *Energy Conversion and Management*. 2008, 49, 1228-1236.
- [22]Raji, A., Hasnaoui, M., Naimi, M., Slimani, K., Ouazzani, M. T. Effect of the subdivision of an obstacle on the natural convection heat transfer in a square cavity. *Computers&Fluids*. 2012, 68, 1-15.
- [23]Ezan, A.E, Kalfa M. Numerical investigation of transient natural convection heat transfer of freezing water in a square cavity. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2016, 61, 438-448.
- [24]Raji, A., Hasnaoui, M., Bahlaoui, A. Numerical study of natural convection dominated heat transfer in a ventilated cavity: Case of forced flow playing simultaneous assisting and opposing roles. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2008, 29, 1174-1181.

- [25]Das, K. M., Reddy, K. S. K. Conjugate natural convection heat transfer in an inclined square cavity containing a conducting block. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2006, 49, 4987-5000
- [26]Saravanan, S., Sivaraj, C. Coupled thermal radiation and natural convection heat transfer in a cavity with a heated plate inside. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2013, 40, 54-64.
- [27]Alshuraiaan, B., Khanafer, K. The effect of the position of the heated thin porous fin on the laminar natural convection heat transfer in a differentially heated cavity. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2016, 78, 190-199.
- [28]Bejan, A., Kraus, A. D. *Heat Transfer Handbook*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, Canada, 2003, 1043-1049 s.
- [29] Ganji, D.D., Malvandi, A. *Heat Transfer Enhancement Using Nanofluid Flow in Microchannels*. William Andrew Publishing, Cambridge, UK, 2016, 3-8 s.
- [30]Imaging Tecnology Group - Bechman Institute.
<https://itg.beckman.illinois.edu/communications/iotw/2008-04-29/>
- [31] Hampson, H., and Ozisik, N. An investigation into the condensation of steam. *Journal of Power and Energy*. 1952,1(B), 282-294.
- [32] Das, A. K., Kilty, H. P., Marto, P. J., Kumar, A., and Andeen, G. B. Dropwise Condensation of Steam on Horizontal Corrugated Tubes Using an Organic Self-Assembled Monolayer Coating. *Journal of Enhanced Heat Transfer*. 2000,7(2),109-123
- [33] Allturbulators-Turbulator Division - <http://allturbulators.com/about-us.html>
- [34]Calgavin - Heat Excganger Solutions - Twisted Tape
<https://www.calgavin.com/heat-exchanger-solutions/twisted-tape>
- [35]Adlı, D. Nanoakışkanların Isı Transferine Etkisi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trakya, 2013, 1 s (Yüksek Lisans Tezi)
- [36]Maxwell, J.C. *Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, UK, 1873.
- [37]Maxwell J. C. *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, UK, 1881.
- [38]Lee, S., Choi, S.U.S., Li, S., Eastman, J.A., Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *Asme Journal of Heat Transfer*. 1999,121, 280–289.
- [39]Suslick, K. S., M. Fang, and T. Hyeon. Sonochemical Synthesis of Iron Colloids. *Journal of American Chemical Society*. 1996, 118, 11960.

- [40]Chopkar, M, P. K. Das, and I. Manna. Synthesis and characterization of nanofluid for advanced heat transfer applications. *Scripta Materialia*. 2006, 55, 549–552.
- [41]Xuan Y. , Li Q. Heat transfer enhancement of nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2000, 21(1), 58-64.
- [42]Li, Y., Zhou, J., Tung, S., Schneider, E., Xi, S. A review on development of nanofluid preparation and characterization. *Powder Technology*. 2009, 196, 89-101.
- [43]Akoh, H., Tsukasaki Y., Yatsuya S., Tasaki, A. Ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate. *Journal of Crystal Growth*. 1978, 45, 495.
- [44]Babita, Sharma, S.K., Gupta, S.M. Preparation and evaluation of stable nanofluids for heat transfer application: A review. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2016, 79, 202-212.
- [45]Zhu, H., Lin, Y., Yin, Y. A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004, 277, 100-103.
- [46] Eastman, J.A., Choi, S. U.S., Li, S., Yu, W., Thompson, L. J. Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Applied Physics Letters*. 2001, 78(6), 718-720.
- [47]Wang, X., Mujumdar, A.S. Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *International Journal of Thermal Sciences*. 2007, 46, 1-19.
- [48]Ghadimi, A.,Saidur, R., Metselaar. A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2011, 54, 4051-4068
- [49] Lee, S., S. U. S. Choi, S. Li, and J. A. Eastman. Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles. *Journal Heat Transfer*. 1999, 121:280–289.
- [50] Chang, H., Tsung, T. T., Chen, L. C., Yang, Y. C., Lin, H. M., Lin, C. K., et al. Nanoparticle suspension preparation using the arc spray nanoparticle synthesis system combined with ultrasonic vibration and rotating electrode. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2005, 26, 552–558.
- [51]Zhou, H., Lin, Y.,& Yin, Y. A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004, 277,100–103.
- [52] Tavares, J., Coulombe, S. Dual plasma synthesis and characterization of a stable copper–ethylene glycol nanofluid. *Powder Technology*. 2011, 210, 132–142.

- [53] Xie, H., Wang, J., Xi, T., and Liu, Y. Thermal Conductivity of Suspensions Containing Nanosized SiC Particles. *International Journal of Thermophysics*. 2002, 23(2), 571-580.
- [54] Murshed, S., Leong, K., and Yang, C. Enhanced Thermal Conductivity of TiO₂-Water Based Nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*. 2005, 44(4), 367-373.
- [55] Chopkar, M., S. Kumar, D. R., Bhandari, P. K., Das, I. Manna. Development and characterization of Al₂Cu and Ag₂Al nanoparticle dispersed water and ethylene glycol based nanofluid. *Materials Science Engineering*. 2007, 139(2-3), 141-148.
- [56] Jeong, J., Li, C., Kwon, Y., Lee, J., Kim, S. H., Yun, R. Particle shape effect on the viscosity and thermal conductivity of ZnO nanofluids. *International Journal of Refrigeration*. 2013, 36(8), 2233-41.
- [57] Duangthongsuk, W., Wongwises, S. Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂-H₂O nanofluids. *Experimental thermal and fluid science*. 2009, 33(4), 706-714.
- [58] Mahian, O., Kianifar, A., Heris, S. Z., Wongwises, S. First and second laws analysis of a minichannel-based solar collector using boehmite alumina nanofluids: Effects of nanoparticle shape and tube materials. *International journal of heat and mass transfer*. 2014, 78, 1166-1176.
- [59] Yang, L., Du, K., Zhang, X. A theoretical investigation of thermal conductivity of nanofluids with particles in cylindrical shape by anisotropy analysis. *Powder Technology*. 2017, 314, 328-338.
- [60] Zaraki, A., Ghalambaz, M., Chamkha, A. J., Ghalambaz, M., Rossi, D. D. Theoretical analysis of natural convection boundary layer heat and mass transfer of nanofluids: Effects of size, shape and type of nanoparticles, type of base fluid and working temperature -*Advanced Powder Technology*. 2015, 26, 935-946.
- [61] Karimi-Nazarabad, M., Goharshadi, E. K., Youssefi, A., Particle shape effects on some of the transport properties of tungsten oxide nanofluids. *Journal of Molecular Liquids*. 2016, 223, 828-835
- [62] Kim, J. H., Lee, S., Lee, J., Jang, S. P. Effect of particle shape on suspension stability and thermal conductivities of water-based bohemite alumina nanofluids. *Energy* 2015, 90, 1290-1297.
- [63] Chon, C. H., Kihm, K.D. Thermal conductivity enhancement of nanofluids by brownian motion. *Journal of heat transfer*. 2005, 127(8), 810.
- [64] Roy, G., Nguyen, C.T., Palm, S. J. Heat transfer enhancement with the use of nanofluids in radial flow cooling systems considering temperature-dependent properties. *Applied Thermal Engineering*. 2006, 26(17-18), 2209-2218.

- [65] Roy, G., Nguyen, C.T., Gauthier, C., Galanis, N. Heat transfer enhancement using Al₂O₃-water nanofluid for an electronic liquid cooling systems. *Applied Thermal Engineering*. 2007, 27(8-9), 1501-1506.
- [66] Bianco, V., Manca, O., Nardini, S., Vafai, K. Heat transfer enhancement with nanofluids. Taylor&Francis Group, Broken, NW, 2015, 4-8 s
- [67] Michaelides, E. E. S. Nanofluidics Thermodynamic and Transport Properties. Springer, Newyork, 2014, 54 s
- [68] Das, S. K., Choi, S.U.S., Yu, W., Pradeep, T. Nanofluids Science and Technology. John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, Canada, 2008, 8-9 s.
- [69] Hamilton, R. L., Crosser, O. K. Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems, *Industrial Engineering Chemistry Fundamentals*. 1962,1, 187–191.
- [70] Kakac, S., Pramuanjaroenkij, A. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2009, 52, 3187-3196.
- [71] Xie, H., J. Wang, T. Xi, Y. Liu, F. Ai, and Q. Wu, Thermal Conductivity Enhancement of Suspensions Containing Nanosized Alumina Particles, *Journal of Applied Physics*, 2002, 91, 4568–4572.
- [72] Lee, S., S. U. S. Choi, S. Li, Eastman J. A., Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles. *Journal of Heat Transfer* 1999, 121, 280-289.
- [73] Wen, D., Ding, Y. Formulation of nanofluids for natural convective heat transfer applications. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2005, 26, 855–864.
- [74] Okada, M., Suzuki, T. Natural convection of water-fine particle suspension in a rectangular cell. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1997, 40, 3201–3208.
- [75] Wen, D., Ding, Y. Natural convective heat transfer of suspensions of titanium dioxide nanoparticles (nanofluids). *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 2006, 5(3), 220–227.
- [76] Khanafer, K., Vafai, K., Lightstone, M. Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2003, 46, 3639–3653.

- [77] Oztop, H. F., Abu-Nada, E. Numerical study of natural convection in partially heated rectangular enclosures filled with nanofluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2008, 29(5), 1326-1336.
- [78] Rong-Yuan Jou, Sheng-Chung Tzeng. Numerical research of nature convective heat transfer enhancement filled with nanofluids in rectangular enclosures, *International Journal of Arts & Sciences* 2006, 33, 727-736.
- [79] Santra A.K., Sen S., Chakraborty N. Study of heat transfer augmentation in a differentially heated square cavity using copper–water nanofluid. *International Journal of Thermal Sciences*. 2008, 47, 1113-1122.
- [80] Violi, A. , Lin, K. C. Natural convection heat transfer of nanofluids in a vertical cavity: Effects of non-uniform particle diameter and temperature on thermal conductivity. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2010, 31, 236-245
- [81] Boualit, A., Zareibi N., Chergui, T., Lebbi M., Boutina, L. ,Laouar, S. Natural convection investigation in square cavity filled with nanofluid using dispersion model. *International journal of hydrogen energy*. 2016, 1-13.
- [82] Abdollahi, R., Kheirkhah M.H., Arefmanesh A., Sheikhzadeh G.A. Natural convection of Cu–water nanofluid in a cavity with partially active side walls. *European Journal of Mechanics B/Fluids*. 2011, 30, 166-176.
- [83] Selimefendigil F., Öztop H.F. Conjugate natural convection in a cavity with a conductive partition and filled with different nanofluids on different sides of the partition. *Journal of Molecular Liquids*. 2016, 216, 67-77.
- [84] Ghasemi, B., Aminossadati, S.M. Periodic natural convection in a nanofluid-filled enclosure with oscillating heat flux. *International Journal of Thermal Sciences*. 2010, 49, 1-9.
- [85] Bondareva N. S., Sheremet M.A. Effect of inclined magnetic field on natural convection melting in a square cavity with a local heat source. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2016, 419, 476-484.
- [86] Abouali O., Falahatpisheh A. Numerical investigation of natural convection of Al_2O_3 nanofluid in vertical annuli. *Heat Mass Transfer*. 2009, 46, 15-23.

- [87] Armahani T. , Kasaeipoor A., Alavi N., Rashidi M.M Numerical investigation of water-alumina nanofluid natural convection heat transfer and entropy generation in a baffled L-shaped cavity. Journal of Molecular Liquids. 2016, 223, 243-251.
- [88]Kasaeipoor A., Makulati N., Rashidi M.M Numerical study of natural convection of a water-alumina nanofluid in inclined C-shaped enclosures under the effect of magnetic field. Advanced Powder Technology. 2016, 27, 661-672.
- [89] Özdemir, N.Ö. Sonlu elemanlar yöntemi ile yorulma mekaniği ve uygulamaları. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine mühendisliği bölümü, Trabzon, 2009, 4 s.
- [90]Lewis, R. W., Nithiarasu, P., Seetaramu, K. N. Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow. John Wiley & Sons, Ltd. England, 2004, 40 s.
- [91] Doç. Dr. Mehmet Çevik. Sonlu Elemanlar Yöntemi Ders Notları- Celal Bayar Üniversitesi.
- [92]Reddy, J. N. Introduction To The Finite Element Method. McGraw-Hill, Inc. Texas, America, 1976, 13 s.
- [93] Arıkan, S. M. A. Sonlu elemanlar metodunun mühendislikte uygulamaları. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makine mühendisliği bölümü Öğretim Üyesi. Ankara , 4-7 s.
- [94] Baskharone, E. A. The Finite Element Method with Heat Transfer & Fluid Mechanics Applications. Cambridge University Press. Newyork, 2014, 40 s.
- [95]Lewis, R. W., Nithiarasu, P., Seetaramu, K. N. Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow. John Wiley & Sons, Ltd. England, 2004, 152-154 s
- [96]Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları. Güven Bilimsel Kitapevi, Türkiye, İzmir, 2012, 129 s.
- [97] Fluids- Lecture 8 Notes
<http://web.mit.edu/16.unified/www/FALL/fluids/Lectures/f08.pdf>

- [98] Shahrul, I. M., Mahbubul, I. M., Rahim, N. A., Saidur, R., Elias, M. M. Effect of different nanoparticle shapes on shell and tube heat exchanger using different baffle angles and operated with nanofluid. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2014, 70, 289-297.
- [99] Karimzadehkhoei, M., Shojaeian, M., Şendur, K., Mengüç, P., Koşar, A. The effect of nanoparticle type and nanoparticle mass fraction on heat transfer enhancement in pool boiling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017, 109, 157-166.
- [100] Kamalisarvestani, M., Sohel, M. R., Mahbubul, I. M., Amalina, M. A., Rahim, N. A., Saidur, R., Saidur, R., Elias, M. M., Hepbasli, A. Effect of nanoparticle shape on the heat transfer and thermodynamic performance of a shell and tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2013, 44, 93-99.
- [101] Vanaki, S. M., Mohammed, H. A., Abdollahi, A., Wahid, M. A. Effect of nanoparticle shapes on the heat transfer enhancement in a wavy channel with different phase shifts. *Journal of Molecular Liquids*. 2014, 196, 32-42.
- [102] Jou, R. Y., Tzeng, S. C. Numerical research of nature convective heat transfer enhancement filled with nanofluids in rectangular enclosures. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2006, 33(6), 272-736.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aslı AKYOL İNADA
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1989
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : asli.akyol89@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Hoca Ahmed Yesevi Lisesi, 2006
Yüksekokul : Muğla Üniversitesi, Ula Ali Koçman MYO, İklimlendirme - Soğutma Teknolojisi Bölümü, 2010
Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2014
Yüksek Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Termodinamik Bölümü, 2017

Mesleki Deneyim

Kurum bilgisi	A Klima San. Tic. Ltd. Şti 2010-2011
Kurum bilgisi	Acs Klima San. Tic. Ltd. Şti 2015 - 2015
Kurum bilgisi	Öztaş- Green Cooler 2016-2017

Yayınları

Selimefendigil, F., İnada, A. A. Nanoparticle Shape Effect on Natural Convection in a Corner Partitioned Square Cavity. International Mediterranean Science and Engineering Congress 2016, 26-28 Ekim,2016, Adana (Bildiri Özetleri Kitabı, 143-151.)

Selimefendigil, F., İnada, A. A. Nanoparticle Shape Effect on Natural Convection in a Corner Partitioned Square Cavity. Çukurova University Journal of Engineering and Architecture, 2016, 31(SI 2), 143-151.